KAMINSZKIJ–FILATOV

Csillag-, háromszög-, zegzugkapcsolás. Fáziskeresés



MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ

KAMINSZKIJ–FILATOV

CSILLAG-, HÁROMSZÖG-, ZEGZUG-KAPCSOLÁS. FÁZISKERESÉS

E. A. KAMINSZKIJ – A. A. FILATOV

CSILLAG-, HÁROMSZÖG-, ZEGZUGKAPCSOLÁS. FÁZISKERESÉS

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, BUDAPEST
MIR KÖNYVKIADÓ, MOSZKVA
1982

Az eredeti mű:

Евгений Абрамович Каминский: Звезда, треугольник, зигзаг
изд. четвертое, переработанное
Издательство «Энергия» Москва

•

Александр Александрович Филатов:
Фазировка электрического оборудования
Издательство «Энергия» Москва

Fordította és átdolgozta:

Géczi István okl. vill. mérnök

Lektorálta:

Sipos Miklós okl. gépészmérnök
Rozenberszki Róbert okl. vill. mérnök

ETO: 621.3.062

ISBN: 963 10 3883 1

Felelős szerkesztő: **Guller Jánosné** villamosmérnök

TARTALOM

BEVEZETÉS

A csillag- és háromszögkapcsolás alapvető kapcsolási fajták a háromfázisú villamos berendezésekben. A zegzugkapcsolás ritkábban fordul elő. Mivel valamennyi kapcsolásnak sajátos tulajdonságai vannak, ezért a kapcsolásfajta meghatározó jelentőségű. Ha pl. egy transzformátor szekunder tekercsét csillagba kapcsoljuk, akkor csak egyetlen feszültséget kapunk, pl. 127, 220 vagy 380 V-ot. Földelt csillagkapcsolás esetén viszont két feszültség, pl. 127 és 220 V, vagy 220 és 380 V, földelt zegzugkapcsolás esetén pedig már három feszültség nyerhető, pl. 127, 220 és 380 V.

Egy és ugyanazon készülék tekercselése csillagba, háromszögbe, zegzugba nemcsak egy, hanem többféle módon is köthető. Következésképpen nem minden csillag- és nem minden háromszögkapcsolás egyforma.

Nem elegendő csak azt tudni, hogy a konkrét esetben milyen kapcsolás szükséges, ismerni kell annak kialakítását is. A gyakorlatban ezt bonyolultabb megvalósítani, mint ábrán. A probléma abban jelentkezik, hogy a tekercsek a készüléken belül nem láthatók, csak a kivezetésekhez férhetünk hozzá, és nem mindig lehet tudni, hogy a három tekercs közül melyikhez tartozik egyik vagy másik kivezetés, továbbá, hogy az adott kivezetés a tekercs kezdete-e vagy vége. A kapcsolás kialakítása során könnyű hibázni, azaz az egyik csillag (háromszög) helyett másikat nyerhetünk, vagy ami még ennél is rosszabb egészen más kapcsolást hozunk létre – azaz se csillagot, se háromszöget, se zegzugot –, ami viszont már nem megengedett.

Végül a helyesen kapcsolt készüléket könnyű helytelenül a hálózatra kapcsolni. Az ilyen hiba pl. megváltoztathatja a villamos motor vagy egy egész motorcsoport forgásirányát.

Az elmondottak meggyőzően bizonyítják valamennyi villanyszerelő és elektrotechnikus számára, hogy nem elegendő elvileg jól ismerni és érteni a csillag- és háromszögkapcsolás tulajdonságait, hanem helyesen kell alkalmazni azokat a gyakorlatban is. E kérdések áttekintését szolgálja ez a könyv, amely E. A. Kaminszkij: Csillag-, háromszög-, zegzugkapcsolás és A. A. Filatov: Villamos berendezések fázissorrendjének meghatározása c. az „Energija" (Moszkva) kiadónál megjelentetett ismeretterjesztő és gyakorlati kiadványok alapján készült.

1. A VÁLTAKOZÓÁRAM NÉHÁNY JELLEMZŐJÉRŐL

A könyv mondanivalójának megértéséhez szükség van az elektrotechnika alapfogalmainak ismeretére. Az összefüggések felismerése céljából a következőkben vázlatosan áttekintjük a váltakozóáram néhány jellegzetességét.

A váltakozóáram keletkezése és ábrázolása

Váltakozófeszültséget a legegyszerűbb generátorban is elő lehet állítani (1. ábra), amely *1* kétpólusú mágnesből és egymenetes tekercsből *2* (vezetőkeret) áll. Ebből a szempontból nincs jelentősége annak, hogy a tekercs (vezetőkeret) vagy a mágnes forog, ugyanis mindkét módon elérhető. hogy a tekercs menetei metsszék a mágneses erővonalakat, amely az indukált feszültség (régebbi elnevezése szerint elektromotoros erő) létrejöttének a feltétele.

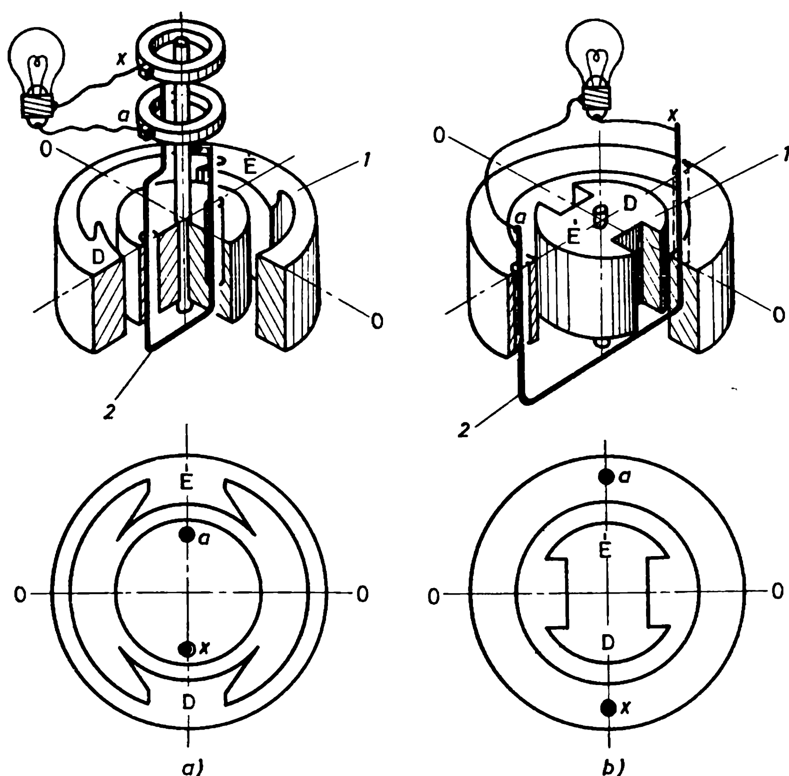
Forgás közben, mivel a vezetőkeret helyzete a mágneses térhez viszonyítva pillanatról pillanatra különböző, a metszett indukcióvonalak száma sem azonos (2. ábra). Amikor a keret helyzete merőleges (*c*, *g*) az indukcióvonalakra, akkor a metszett erővonalak száma és ezzel együtt az indukált feszültség értéke maximális; amikor pedig párhuzamos (*a*, *e*, *i*) akkor nulla. Azt a T időt, amely a tekercs azonos helyzetbe való visszajutásához szükséges, periódusidőnek nevezik, a másodpercenkénti periódusok f számát pedig frekvenciának. Közöttük a következő összefüggés áll fenn:

$$f = \frac{1}{T},$$

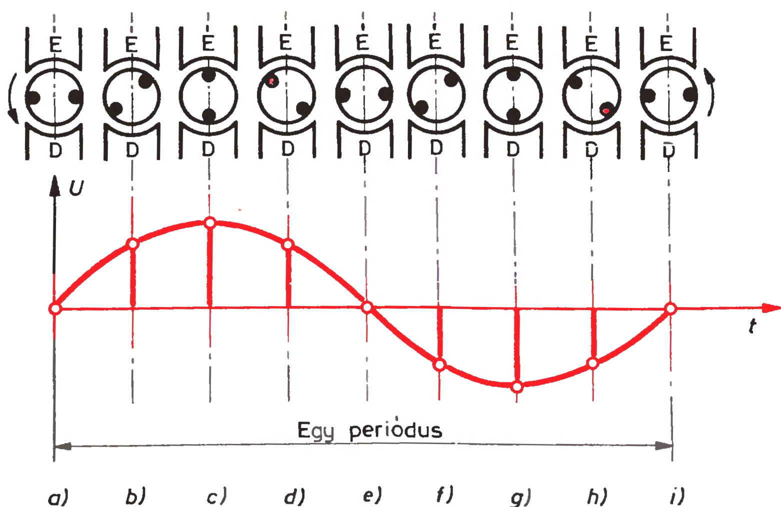
egysége a H ; $1\,\text{Hz} = \frac{1}{s}$.

A szinuszgörbe szerkesztését a 3. ábra mutatja. A vízszintes tengelyre balról jobbra növekedve vagy a *t* időt, vagy a tekercs *α* szögelfordulását, a függőleges tengelyre pedig a kérdéses mennyiséget, pl. a feszültséget vagy áramot visszük fel. A szögelfordulást fokban vagy ívmértékben, de előfordul, hogy a periódusidő részeként (*T*/4, *T*/2, 3/4*T*, *T*) tüntetik fel.

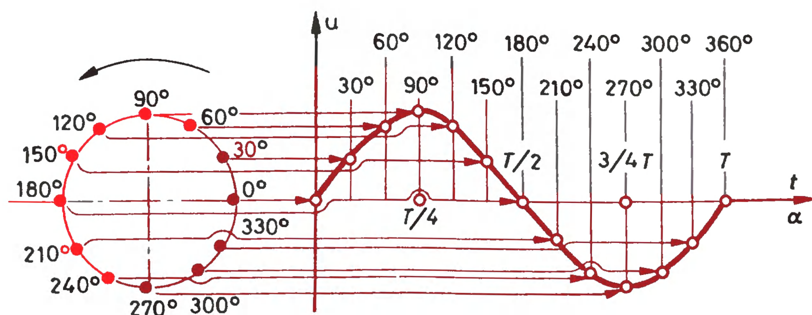
Többpólusú generátorokban a villamos és geometriai szögek nem esnek egybe, mert az azonos nemű pólusok, pl. az északiak, egy-



1. ábra. A váltakozóáram előállításának elve generátorokban



2. ábra. A feszültség változása egy periódus alatt



3. ábra. A szinuszgörbe szerkesztése

máshoz viszonyítva térben közelebb vannak egymáshoz: azaz a két póluspárú generátorban 180°-ra, a három póluspárúban 120° távolságra. Miközben tehát a forgórész egy fordulat alatt 360°-nyi geometriai szöget ír le, ez villamos értelemben annyiszor 360°-ot jelent, ahány póluspár (p) van. Következik ebből, hogy egy fordulat alatt a póluspárok számától függően, eltérően a kétpólusú (egypóluspárú)

generátortól nem egy, hanem több periódus zajlik le. A generátorban keletkező váltakozófeszültség frekvenciája így az

$$f = p\frac{n}{60} \quad \text{Hz}$$

összefüggésnek felel meg.

Említést kell tenni még az ω körfrekvenciáról, amely nem más, mint a másodpercenként megtett szögelfordulás (szögsebesség). Mivel egy fordulat alatt a mozgó vezető a kerületnek megfelelő, azaz 2π utat tesz meg, a körfrekvencia

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

és mivel $\frac{1}{T} = f$,

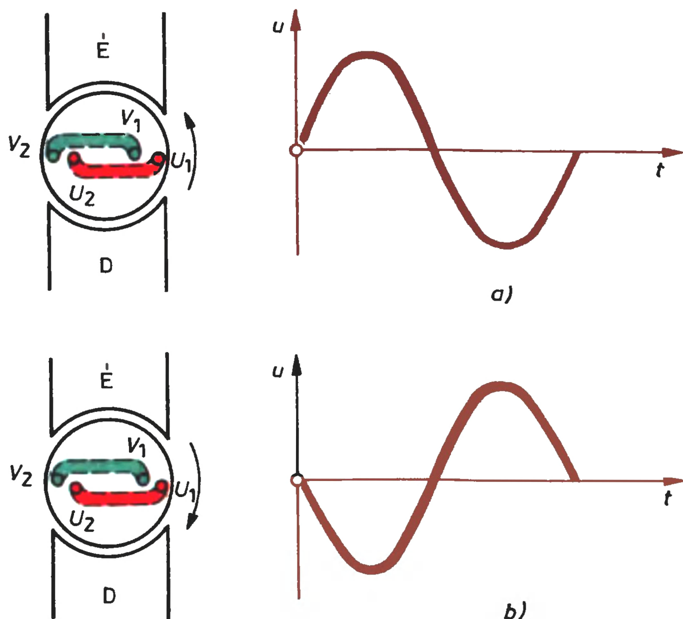
$$\omega = 2\pi f, \quad \frac{1}{s}.$$

Többfázisú áramok

Ha a generátorban egynél több tekercs van és azok szerkezetileg, menetszámukat és a vezetőkeresztmetszetet tekintve azonosak, akkor a feszültség változását ábrázoló szinuszgörbék egyformák. Rajzon ezeket a görbéket a tekercsek kölcsönös elhelyezkedésének és forgásuk irányának megfelelően kell ábrázolni.

A 4. ábrán látható kéttekercses generátor azonos hornyában elhelyezett U_1, U_2 és V_1, V_2 tekercsei a mágneses térhez viszonyítva azonos szöggel fordulnak el, ezért a feszültség változását ábrázoló szinuszgörbék mindkét esetben egybeesnek. Ha a forgás az óramutató járásával ellentétes, a feszültségváltozás regisztrálása abban a pillanatban kezdődik, amikor a tekercsek a rajzon megjelölt helyzetet foglalják el. Ilyenkor a szinuszgörbék a 4*a* ábra szerint ábrázolhatók. Ha a forgás az óramutató járásával megegyezik, a szinuszgörbe is más (4*b* ábra), mégpedig azért, mert az első esetben a vezetők először az északi, a második esetben először a déli pólus alatt haladnak át.

Az 5. ábrán látható generátornak szintén két tekercse van, de azok egymásra merőlegesek. Emiatt a feszültség csúcsértéke bennük

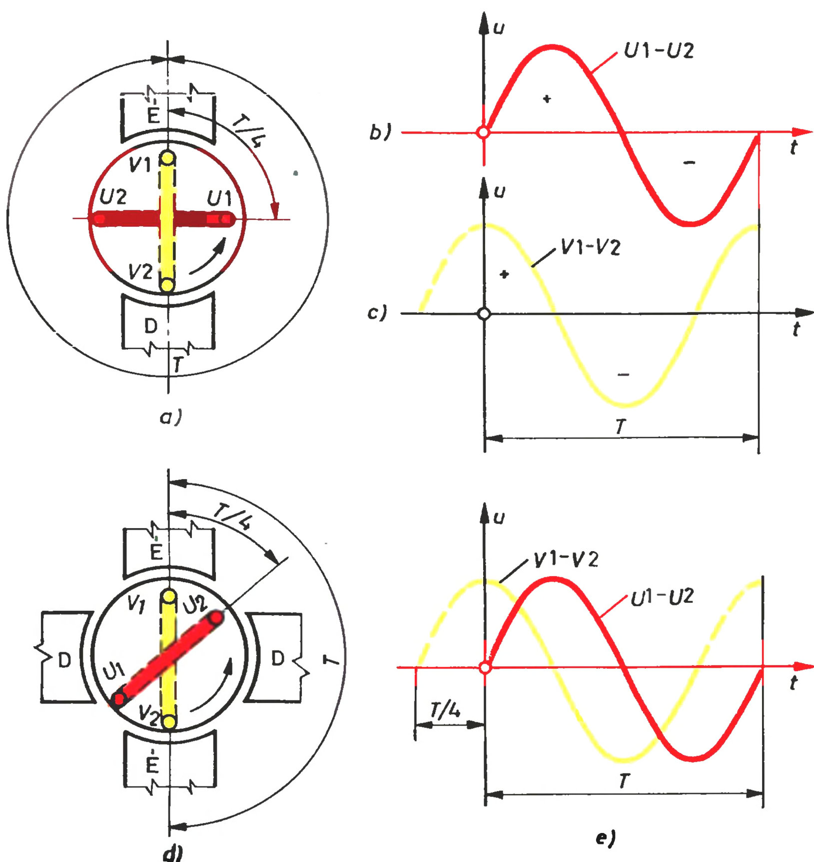


4. ábra. A szinuszhullám kialakulása a generátor forgórészének helyzetétől függően

különböző időpontban keletkezik és következésképpen a szinuszgörbék eltolódnak. Az egymásra merőleges tekercsekben keletkező feszültségek nagyságát és helyzetét szinuszvonallal történő ábrázolás esetén a következőképpen lehet megszerkeszteni.

1. Az egyik tekercs, pl. az *U*1, *U*2 tekercsben keletkező feszültség szinuszgörbéjét a rajzon tetszőlegesen helyezik el, és az origókon keresztül egy-egy függőlegest húznak (5*b* ábra).

2. Az 5*a* ábra szerint meghatározzák, hogy a vezető mely helyzetének felel meg a 0 pont és ebben az időpontban hol van a *V* vezető: megelőzi-e a forgási irány szerint az *U* vezetőt vagy elmarad tőle. Esetünkben a *V* vezető megelőzi az *U* vezetőt. Valóban az utóbbi még a semleges ponton van és benne a feszültség értéke nulla, a *V* vezető pedig már a pólus alatt és benne a feszültség elérte maximális értékét.



5. ábra. Két tekercs feszültségeinek negyedperiódusnyi eltolódása

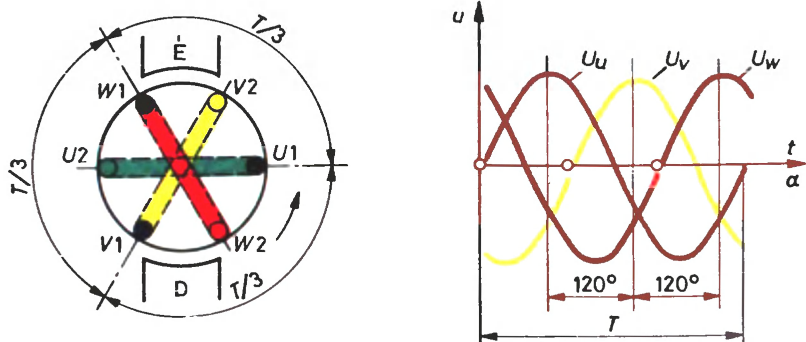
3. Meghatáro zák a *V*1, *V*2 tekercsben a feszültség előjelét a 0 pontra vonatkozóan. Ennek ismeretében állapítható meg, hogy a *V*1, *V*2 tekercs szinuszgörbéje a vízszintes tengely alatt vagy felett kezdődik. Ha a *V*1, *V*2 tekercs ugyanazon pólus tartományában van, amelyhez a forgatáskor az U_1, U_2 tekercs közeledik, akkor a feszültség előjelei azonosak. Példánkban az *U*1, *U*2 tekercsben a feszültség pozitív és mindkét tekercs azonos pólustartományban van, ezért a *V*1, *V*2 tekercsben keletkező feszültség szinuszgörbéje a 0 pontban pozitív.

4. Meghatározzák, hogy a *V*1, *V*2 tekercs az *U*1, *U*2 tekercshez viszonyítva mekkora szögértékkel mozdult el. Ez az 5*a* és *d* ábrákból látható, amelyeken a két- és négypólusú generátorokat ábrázolják. A *T* periódus időtartamát minden esetben az azonos nemű pólusok közötti távolsággal és a forgás frekvenciájával (sebességével) határozzák meg. Könnyen belátható, hogy a tekercsek kezdetei közötti távolság, azaz az *U* és *V* vezető közötti távolság egyenlő 1/4*T*-vel.

5. Végül egymásra kell helyezni az *U*1, *U*2 és *V*1 *V*2 szinuszgörbéket az 5*e* ábra szerint. Ebből világosan látható, hogy köztük *T*/4 periódusnyi, azaz 90 villamos foknyi eltolódás van.

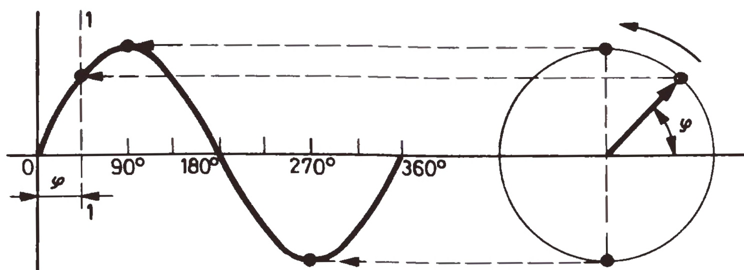
A 6. ábrán egy háromtekercses háromfázisú generátor látható az *U*1, *U*2, *V*1, *V*2 és *W*1, *W*2 tekercsekkel. A tekercsek a kör mentén egyenletesen vannak elosztva, azaz egymáshoz viszonyítva *T*/3 periódusnyira vagy 120°-ra eltolva. Az egyforma tekercsek ilyen elrendezése esetén és az óramutató járásával ellentétes forgatás közben az *U*1 *U*2 tekercsben indukálandó feszültség *T*/3-nyira megelőzi a *V*1, *V*2 tekercs feszültségét, amely ugyancsak *T*/3-nyira előzi meg a *W*1, *W*2-ét.

A váltakozóáramú technikában a feszültségek (áramok) periodikus változásait gyakran forgó *síkvektorokkal*, azaz meghatározott hosszúságú és irányú egyenes szakaszokkal ábrázolják. A szinuszgörbék és a forgó vektorok közötti kapcsolatot a 7. ábra mutatja. A vektorok nagysága valamilyen léptékben a feszültség csúcsértékének

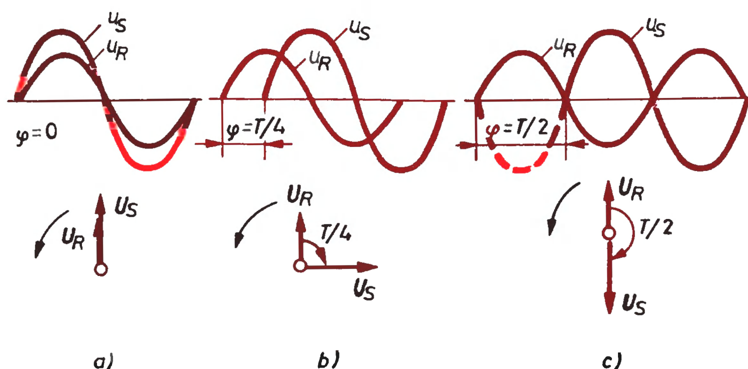


6. ábra. Három tekercsben indukálódó, egyharmad periódusnyira eltolt feszültségek

felel meg, a vektorok vetülete az 1–1 függőleges tengelyre a pillanatnyi értékeket adja. Két egybeeső kezdetű vektor közötti fázis eltolódását a φ szöggel határozzák meg (8. ábra). Az $\mathbf{E}_S$ vektor $\mathbf{E}_R$ vektorhoz mért késését a φ szög nyilával mutatjuk (a vektorok forgási irányával ellentétesen).



7. ábra. A szinuszgörbe előállítása a vektor forgatásával



8. ábra. Két feszültség ábrázolása szinuszgörbével és vektorokkal különböző fázisszögek esetén
a $\varphi=0°$; *b* $\varphi=90°$; *c* $\varphi=180°$

Fázis, fázissorrend, fázishelyzet és fázisazonosítás

A *fázis* szónak többféle jelentése van. Szélesebb értelmezésében fázisnak nevezik valamely jelenség kialakulásának egyes időpillanatait. A periodikus folyamatokkal kapcsolatban, amelyekhez pl. a belső (indukált) feszültség és az áram változása is tartozik, azt az értéket nevezik fázisnak, amely az adott folyamat állapotát valamelyik időpillanatban jellemzi.

Ily módon fázisnak nevezhető a tekercs szögelfordulása [ugyanis minden szöghöz a belső (indukált) feszültség meghatározott értéke tartozik], valamint a periódus kezdete óta eltelt idő. Amikor az indukált feszültség nulla, a periódus kezdetét nulla fázisnak nevezik.

A gyakorlatban a háromfázisú rendszer fázisán a háromfázisú áramkörnek azt a részét értik, amelyen keresztül azonos, de a másik két fázishoz képest eltolt áram halad át. Ebből kiindulva fázisnak nevezzük a generátor, a transzformátor, a motor tekercsét, a háromfázisú hálózat vezetékét, így is hangsúlyozva azt, hogy ezek a háromfázisú áramkör meghatározott szakaszához tartoznak.

Az erőművek, transzformátor- és kapcsolóállomások villamos berendezéseinek színnel való jelölését és vezetékeinek sorrendjét az MSZ-09-0238-79 előírásainak megfelelően az 1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatból is láthatóan a háromfázisú hálózatokban a fázisokat *R*, *S*, *T* betűkkel jelölik. A hivatkozott szabvány szerint az *R* fázis zöld, az *S* fázis sárga és a *T* fázis piros. A berendezés fázisainak felismerésére gyakran azok burkolatán, a szigetelők talpán vagy sapkáján a megfelelő színjelölést összefüggően, ill. kör vagy csík formájában is feltüntetik.

Többfázisú rendszerben a feszültségek, ill áramok azonos fázishelyzetű (nullaátmenet vagy maximum) pillanatértékeinek bekövetkezési sorrendjét *fázissorrendnek* nevezik. Ezenkívül ezt a fogalmat használják a fázisok [a hálózat egyes vezetői, a villamos gépek tekercskivezetései (kapcsai) stb.] térbeli elhelyezkedésének meghatározásakor is.

Szabványok és üzemviteli előírások határozzák meg, hogy a gépek és a készülékek kapcsai pl. fentről lefelé, az óramutató járásával megegyezően vagy ellenkezően stb. miként helyezkedjenek el. E meghatározás alapján beszélhetünk a gép- és transzformátorkapcsok, vezetékek és gyűjtősínek fázissorrendjéről. Az esetek többségében a fázissorrend szigorúan megszabott.

1. táblázat. **Csupasz sínek jelzőfestése** (MSZ-09, 0238 szerint)

A tápháló-zat rendszere	A vezető megnevezése (jelölése)	Jelző-szín	Megjegyzés
Háromfázisú	fázisvezető *R* *S* *T*	 zöld sárga piros	Az *R*, *S* és *T* fázisokat ebben a sorrendben a szabványos motor *U*, *V* és *W* kapcsaira kötve, a motor forgásiránya a hajtásoldal felől nézve az óramutató járásával megegyező irányú
Egyfázisú	*R* *S*	zöld sárga	Nem vonatkozik ez a háromfázisú rendszerről leágazó egyfázisú vezetőkre, ezek megtartják a háromfázisú rendszerben kapott színüket
Bármely rendszerben	közvetlenül földelt nullavezető, ill. középvezető	fekete	
	közvetlenül *nem* földelt nullavezető, ill. középvezető	barna	
	földelővezető, érintésvédelmi védővezető	fekete	Megengedett a hosszanti sárga csíkkal ellátott zöld – és olyan helyen, ahol csak egyetlen csupasz vezető van – a piros festés is

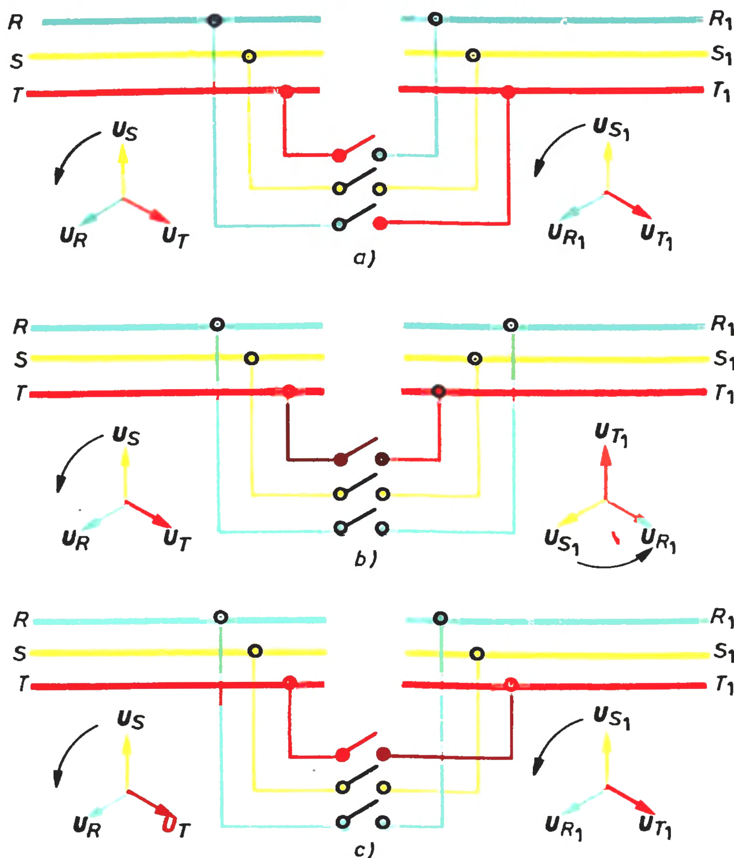
Így pl. függőleges és vízszintes síkban szerelt vezetékeket (csupasz síneket) úgy kell elrendezni, hogy a kezelőoldalról nézve lehetőleg balról jobbra vagy felülről lefelé haladva, ill. a szemlélőtől távolodó sorrendben következzenek egymás után, éspedig:

– háromfázisú rendszerben az *R*, az *S*, a *T* és az *N* vezető, tehát a zöld, a sárga, a piros és a barna színezésű pólusok;

– egyfázisú rendszerben az *R*, a középvezető és az *S*, tehát a zöld, a barna és a sárga színezésű pólusok

Fázisazonosításon az összekapcsolandó hálózatrészek fázissorrendjének (és a szükséges esetekben fázishelyzetének) ellenőrzését értik.

Háromfázisú áramkörök fázisazonosításakor számítani kell arra, hogy a kapcsolókészülékek (szín vagy betű) jele fel van cserélve.



9. ábra. A berendezés két részén előforduló fáziseltérés változatai

Előfordulhat az is, hogy bár a fázissorrend helyes, a feszültségek fázishelyzete (pl. transzformátorok párhuzamos kapcsolásakor) különböző. A további okfejtés egyszerűsítése érdekében tételezzük fel először, hogy két háromfázisú áramkör feszültségeinek azonos a fázissorrendje (9*a* ábra), de a kapcsolókészülék kapcsain a fázisokat felcserélték. Az sem lehetetlen, hogy a készülék kapcsainak fázissorrendje és az összekapcsolásra kerülő hálózatok fázissorrendje azonos (9*b* ábra), de különböző a párhuzamosan kapcsolandó transzformátorok fázishelyzete. Az egynemű feszültségvektorok fázisforgatási szöge nemcsak 120° lehet, mint ez a 9*b* ábrán látható, hanem a 30°-os szög bármely többszöröse, ami a különböző kapcsolási csoportú transzformátoroknál fordul elő. A kapcsoló bekapcsolása mindkét bemutatott esetben rövidzárlatot idéz elő.

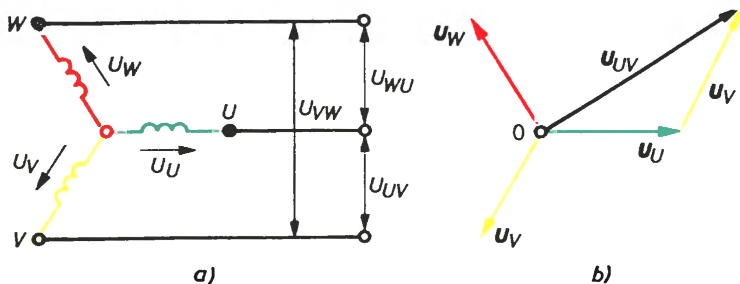
A berendezés összekapcsolt részei között a rövidzárlat akkor kizárt, ha a fázissorrend és adott esetben a fázishelyzet azonos (9*c* ábra).

2. A HÁROMFÁZISÚ RENDSZER CSILLAG- ÉS HÁROMSZÖGKAPCSOLÁSA

Az alapkapcsolások jellemzői

A villamos gépek (generátorok, szinkron kompenzátorok, motorok) és transzformátorok tekercseit csillagba vagy háromszögbe kapcsolják.

A generátor három tekercsének csillagkapcsolásakor azok végeit egy pontba, az ún. nullapontba vagy csillagpontba kapcsolják (10*a* ábra). A tekercsek kezdetei és a nul apont közötti feszültségeket fázisfeszültségeknek nevezik és U_U, U_V, U_W betűkkel jelölik. A fázisok közötti feszültséget vonalfeszültségnek nevezik. Ezeket úgy kapják, mint a generátor megfelelő fázisfeszültség-vektorainak különbségét, például $U_V - U_W = U_{VW}$ (10*b* ábra). A vonalfeszültségek jelölésében az indexelési sorrend nem tetszőleges, hanem azt a vektorkivonás sorrendjében kell megállapitani: $U_V - U_W = U_{VW}$; $U_W - U_U = U_{WU}$.



10. ábra. Generátortekercsek csillagkapcsolása *(a)* és a feszültségek *(b)*

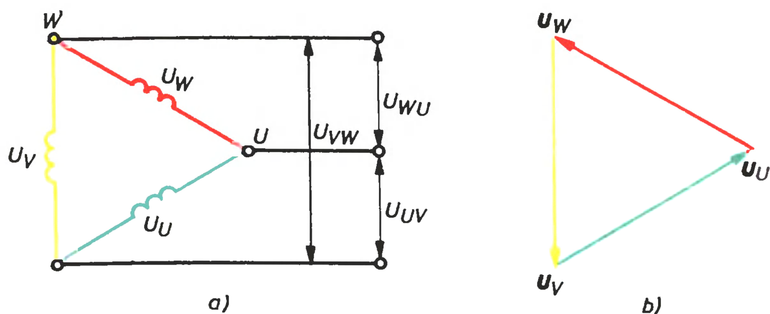
A vektorok megadott forgási irányának figyelembevételével az indexeket úgy állapítják meg, hogy a késő fázisfeszültség vektorát kivonják a siető feszültség vektorából. Ennek eredményeként a vonalfeszültség-vektorok mindig 30°-kal előzik meg a kivonandó fázisvektort. A vonalfeszültség értéke ezért $\sqrt{3}$-szor (1,73-szor) nagyobb a fázisfeszültségnél.

A generátortekercsek háromszögkapcsolását a 11*a* ábra szemlélteti.

Az egyes fázistekercspárok esetében az *U*, *V*, ill. *W* pontok közösek. Ha a generátorkapcsok terheletlenek, akkor a zárt kört alkotó tekercsekben nem folyik áram, ugyanis minden időpillanatba a feszültségek mértani összege nulla (11*b* ábra).

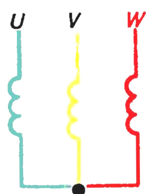
A 11. ábrából következik, hogy háromszögkapcsoláskor a fázisfeszültség egyenlő a vonalfeszültséggel. Megjegyezzük, hogy a generátortekercseket rendszerint csillagba kapcsolják. A háromszögkapcsolás meglehetősen ritka és csak egy-egy turbógenerátortípusnál (pl. TBSZ–30) található meg.

A csillagba kapcsolt fogyasztók terhelése lehet szimmetrikus (12*a*, *b*, *c* ábrák), pl. háromfázisú motor, kondenzátor, színházi csillár stb. és aszimmetrikus (12*d*, *e* ábrák), amilyen pl. az épületek villamos terhelése vagy a közvilágítás stb.

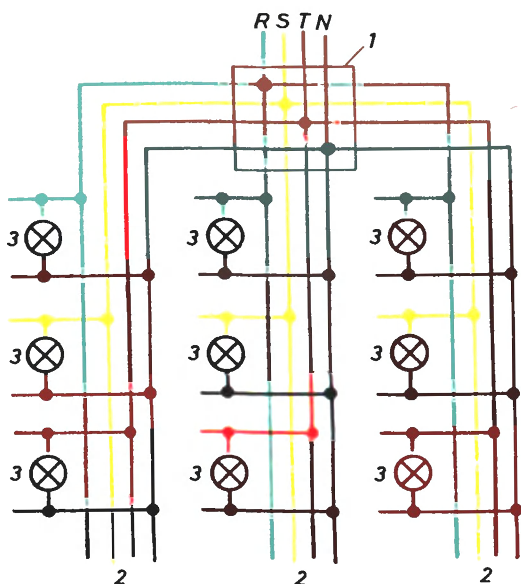


11. ábra. Generátortekercsek háromszögkapcsolása (*a*) és a feszültségek (*b*)

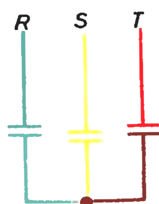
12. ábra. Villamos fogyasztók csillagkapcsolása
1 házi csatlakozószekrény; *2* fővezeték; *3* fogyasztó



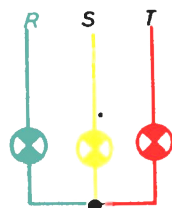
a)



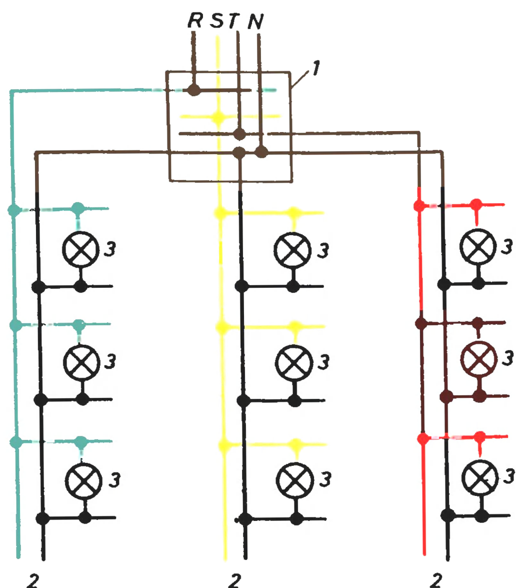
d)



b)



c)



e)

A két rendszer közötti különbség jobb megértése érdekében vizsgáljuk meg a 13. ábrát. A 13*a* ábrán (azonos névleges feszültségű, példánkban 220 V és azonos teljesítményű) izzólámpák három csoportja látható. Ilyen feltételek és 380 V vonalfeszültség mellett az izzók teljes fénnyel világítanak. Fogyasztói hálózatokban az egyidejűleg bekapcsolt izzók mennyisége, valamint azok teljesítménye a fogyasztók igényeitől függ. Szélsőséges esetben ezért előfordulhat, hogy a fázisok egyikének terhelése, pl. a *T* fázis terhelése nulla (13*b* ábra). Ilyenkor ebben a kapcsolásban a másik két fázis terhelése sorbakapcsolttá válik. Ha a terhelések azonosak, akkor a vonali feszültség 50–50% arányban oszlik meg közöttük és az izzók csökkentett fénnyel fognak világítani, ugyanis az üzemi feszültség csak 380 V : 2 = = 190 V lesz.

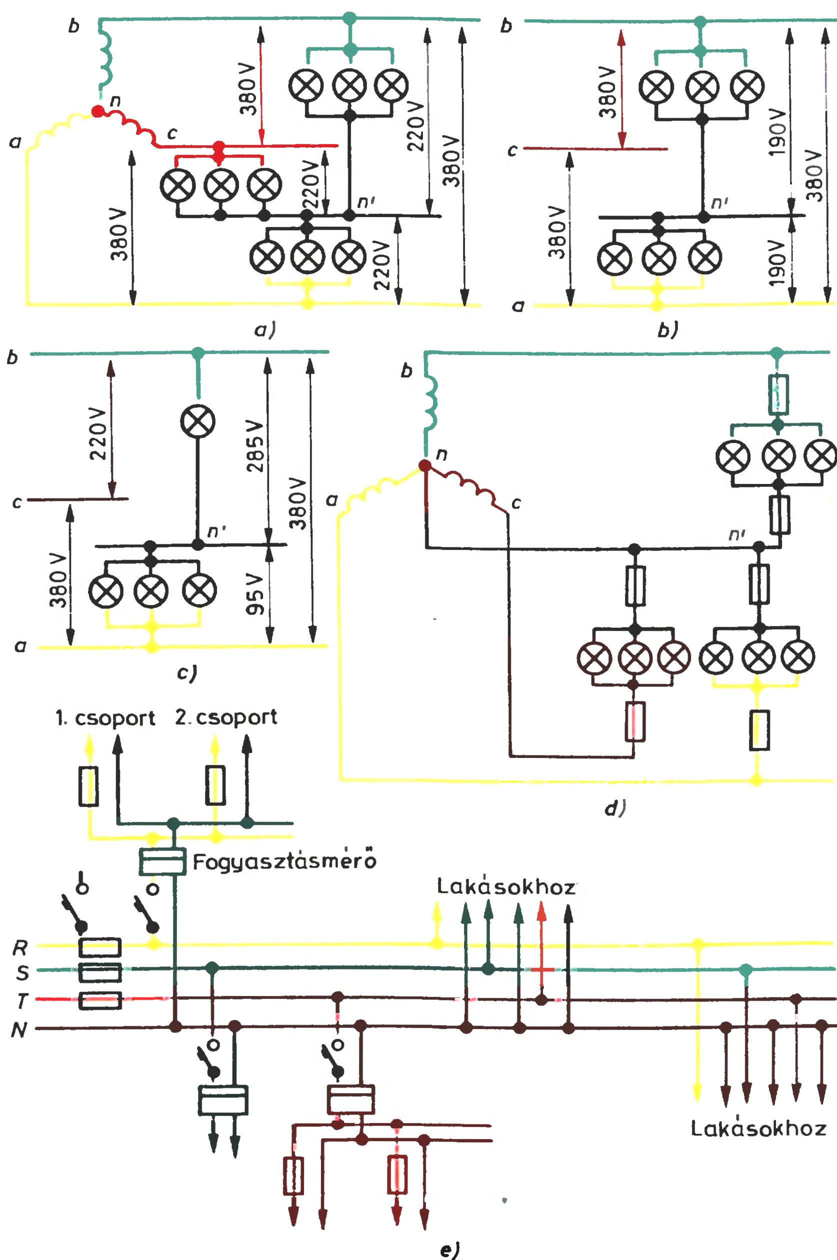
Rosszabb a helyzet, ha az egyik fázisra, pl. a *B* fázisra kapcsolt izzók egy részét kikapcsolják, pl. úgy, ahogyan a 13*c* ábrán látható, ugyanis egy izzó rezisztenciája háromszor nagyobb, mint három ilyen izzóból párhuzamosan összekapcsolt csoporté. A 380 V feszültség egyenlőtlenül oszlik meg közöttük: a nagyobb rezisztenciájú izzóra 285 V (a 380 V 3/4 része, ezért a lámpa kiéghet); a kisebb rezisztenciájúra 95 V (a 380 V 1/4 része) jut.

Megjegyzés: Szigorúan véve a feszültség másképpen oszlik meg. A problémát az okozza, hogy a forróbb izzószálnak nagyobb az ellenállása és mivel az egyik túlhevítve izzik, a többi három csökkentve, ezért a rezisztenciák közötti különbség még jelentősebb.

Négyvezetős rendszerben (13*d* ábra) a fázisok egyenlőtlen terhelése nem ilyen jelentős, mivel az egyes fázisok terhelései közvetlenül a generátor fázistekercsének vagy a transzformátor szekunder tekercsének mindkét kivezetéséhez (azaz a közös nullaponthoz is!) csatlakoznak.

Ennek ellenére a fázisok egyenlőtlen terhelése még négyvezetős rendszerben sem kívánatos, különösen akkor, ha a transzformátor szekunder tekercse csillagkapcsolású, mert ekkor a transzformátorban megbomlik a mágneses egyensúly.

13. ábra. Világítási terhelés csillagkapcsolásának sajátosságai


b
n
a
c
380 V
220 V
380 V
220 V
220 V
n'
380 V
a)
b
380 V
c
190 V
380 V
n'
380 V
190 V
a
b)
b
220 V
285 V
380 V
c
n'
380 V
95 V
a
c)
b
n
a
c
n'
d)
1. csoport
2. csoport
Fogyasztásmérő
Lakásokhoz
R
S
T
N
Lakásokhoz
e)

A gyakorlatban mindig a fázisok egyenletes terhelésére kell törekedni. Izzólámpás világítás esetén ehhez elegendő az izzók fázisonkénti egyenletes elosztása. Fénycsöves világítás esetén az egymás mellett levő fénycsöveket különböző fázisokra kell kapcsolni.

Ennek egyébként más oka is van. Ismeretes ugyanis, hogy az általánosan használatos 50 Hz frekvenciájú váltakozóáramon másodpercenként a fénycsövek 100-szor villannak fel. S bár az ilyen gyakoriságú fénylüktetést az emberi szem nem érzékeli, a látást, ill. a tárgyak pontos érzékelését ez károsan befolyásolja. Ha az egymás mellett elhelyezett lámpákat különböző fázisokra kapcsolják, a fénycsövek felvillanásai időben eltolódnak, ezáltal kiegyenlítődnek. A fényáram változása különösen mozgó tárgyak esetén veszélyes, mert eltorzítja valódi helyzetüket, sőt kedvezőtlen esetben egy mozgó tárgy a szemlélő számára mozdulatlannak vagy ellenkező irányú és lassú mozgást végző berendezésnek tűnik. Ez pedig balesetveszélyt idézhet elő.

Sok problémát és veszélyt lehet elkerülni azzal is, ha betartjuk az MSZ 1600 azon előírását, amely szerint a nullavezetőbe sem olvadóbiztosítót, sem kismegszakítót (tehát túláramvédelmi készüléket) nem szabad tenni. Ennek az a magyarázata (erre utal a 13*d* és *e* ábra is), hogy a túláramvédelem működésekor a négyvezetős rendszer háromvezetőssé lesz, annak minden hátrányával együtt.

A teljesítmény meghatározása

A váltakozóáramú hálózatokban megkülönböztetnek:

- látszólagos teljesítményt: $S = UI$, VA;
- hatásos (effektív) teljesítményt: $P = UI \cos \varphi$, W;
- meddő teljesítményt: $Q = UI \sin \varphi$, var;

ahol U a villamos fogyasztók kapocsfeszültsége, V; φ a fázisszög.

A generátorok teljesítményének meghatározásakor a képletben a belső feszültségek szerepelnek, a villamos fogyasztók teljesítményének meghatározásakor a kapocsfeszültségek. A villamos fogyasztók teljesítményének meghatározásakor figyelembe kell venni a hatásfokot is, ugyanis a villamos motorok gyári adattábláján a tengelyen mérhető (leadott) teljesítményt tüntetik fel.

Amennyiben a fázisteljesítmények $S_R(P_R, Q_R)$; $S_S(P_S, Q_S)$; $S_T(P_T, Q_T)$ azonosak és értelemszerűen egyenlők S_f, P_f és Q_f értékek-

kel, akkor a háromfázisú rendszer teljesítménye a fázisértékeken keresztül kifejezve egyenlő a három fázis teljesítményének összegével:

– a látszólagos teljesítmény: $S = 3S_f$;
– a hatásos (effektív) teljesítmény: $P = 3P_f$;
– a meddő teljesítmény: $Q = 3Q_f$.

Teljesítmény csillagkapcsolás esetén. Csillagkapcsoláskor a vonaláramok (I_v) és a fázisáramok (I_f) egyenlők, a fázis- és vonalfeszültségek között pedig fennáll az $U_v = \sqrt{3}U_f$ viszony, ahonnan $U_f = \frac{U_v}{\sqrt{3}}$. Összevetve ezeket a képleteket, látható, hogy a vonali értékekkel kifejezett teljesítmények csillagkapcsolás esetén a következők:

– látszólagos teljesítmény: $S = 3S_f = 3\frac{U}{\sqrt{3}}I = \sqrt{3}UI$;
– hatásos teljesítmény: $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$;
– meddő teljesítmény: $Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$.

Teljesítmény háromszögkapcsolás esetén. Háromszögkapcsolás esetén a vonalfeszültségek (U_v) és a fázisfeszültségek (U_f) egyenlők, a fázis- és vonaláramok között pedig fennáll az $I_v = \sqrt{3}I_f$ összefüggés, ahonnan $I_f = \frac{I_v}{\sqrt{3}}$; ezért a vonali értékekkel kifejezett teljesítmények háromszögkapcsolás esetén a következők:

– látszólagos teljesítmény: $S = 3S_f = 3U_v\frac{I}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}UI$;
– hatásos teljesítmény: $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$;
– meddő teljesítmény: $Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$.

A csillag- és háromszögkapcsolásokra vonatkozó teljesítményképletek azonos alakja néha félreértésekre ad okot és a tapasztalatlanság olyan helytelen következtetéshez vezethet, hogy pl. a két kapcsolási mód között nincs különbség. Tekintsünk erre egy példát.

Egy villamos motort háromszögbe kapcsoltak, amely a 380 V feszültségű hálózatról 10 A áramerősséget vett fel. A látszólagos teljesítmény értéke:

$$S = 1{,}73 \cdot 380 \cdot 10 = 6574\ \text{VA}.$$

Ezt követően a motort átkapcsolták csillagba. A fázistekercsekre 1,73-szor kisebb feszültség jutott, bár a hálózati feszültség változatlan maradt. A csökkent feszültség következtében a tekercsekben az áramerősség 1,73-ad részére csökkent. Így tehát a vonaláram értéke

csillagkapcsolás esetén az előző értéknek az egyharmadára csökkent. (A csökkenés 1,73·1,73 = 3-szoros!)

A teljesítményt azonos összefüggésből kell kiszámítani, azonban a megváltozott áramértéket kell behelyettesíteni, s ekkor a látszólagos teljesítmény:

$$S_v = 1{,}73 \cdot 380 \frac{10}{3} = 2191 \text{ VA.}$$

Látható, hogy a villamos motorok háromszögből csillagba történő átkapcsolása esetén a motor által leadott teljesítmény egyharmadára csökken.

Generátortekercsek vagy transzformátorok szekunder tekercseinek csillagból háromszögbe való átkapcsolásakor a hálózati feszültség 1,73-ára csökken, pl. 380 V-ról 220 V-ra. A generátor vagy transzformátor teljesítménye ugyanaz marad, mivel minden fázistekercs feszültsége és minden fázistekercsben az áram azonos marad, annak ellenére, hogy a fázisvezetőkben az áramerősség 1,73-szor nagyobb.

Generátortekercsek vagy trans formátorok szekunder tekercseinek háromszögből csillagba történő átkapcsolásakor fordított jelenség zajlik le, azaz a hálózatban a vonalfeszültség 1,73-szor nagyobb lesz, pl. 220 V-ról 380 V-ra növekszik, a fázistekercsekben az áramerősségek ugyanazok maradnak, míg a vonalvezetőkben 1,73-ára csökkennek.

Ha a generátorok és a transzformátorok szekunder tekercseinek mind a hat végét kivezetik, akkor két, egymástól 1,73-dal eltérő feszültségű hálózat alakítható ki.

A cos φ javítására beiktatott kondenzátortelepek kondenzátorainak névleges feszültsége utal arra a hálózati feszültségre, amelyre a kondenzátor rákapcsolható. Ha pl. a hálózati feszültség 380 V, a kondenzátorok névleges feszültsége pedig 220 V, a kondenzátorokat csillagba kell kapcsolni. Ha a hálózati feszültség és a kondenzátorok névleges feszültsége azonos, akkor a kondenzátorokat háromszögbe kapcsolják.

Az előzőkben leírtak szerint a villamos motorok háromszögből csillagba való átkapcsolásakor, a motor teljesítménye egyharmadára csökken. Ez fordítva is igaz! Ha a villamos motort csillagból háromszögbe kapcsoljuk át, teljesítménye megnő, s amennyiben a villamos motor az adott feszültségen és kapcsolásban való üzemeltetésre nem alkalmas, akkor leég.

A csillag–háromszög átkapcsolás alkalmazásai

Rövidre zárt forgórészű motor *indítási áramának csökkentésére* gyakran alkalmazzák a csillag–háromszög kapcsolást, mivel az ilyen gépek indítóárama általában 5...7-szerese a motor üzemi áramfelvételének. A viszonylag nagy teljesítményű motoroknál a nagy indítóáram a hálózati feszültség jelentős letöréséhez vezethet. Ennek legkedvezőtlenebb hatása abban mutatkozik meg, hogy jelentősen csökken a motorok forgatónyomatéka, amely a feszültség négyzetével arányos. Pl. ha a feszültség 20%-kal csökken, a forgatónyomaték nem 20%-kal, hanem 36%-kal ($1^2-0{,}8^2 = 0{,}36$) lesz kisebb. Ez a csökkenés előidézheti a kontaktorok és mágneskapcsolók lekapcsolását.

Az indítóáramot többféleképpen igyekeznek csökkenteni. Valamennyi módszer végeredményben az állórész indítás alatti feszültségének csökkentésére irányul. Ennek érdekében az állórész áramkörébe az indítás idejére ellenállást, fojtótekercset, autotranszformátort kapcsolnak, vagy a tekercseket csillagból háromszögbe kapcsolják.

Csillagból háromszögbe történő átkapcsolás csak könnyű indítású villamos motoroknál megengedett, ugyanis a csillagkapcsoláskor elérhető indítónyomaték csak egyharmada a közvetlen indításkor fellépő nyomatéknak. Az indítóáram csökkentésének ez a módja tehát nem mindig alkalmazható, és ha csökkenteni kell az indítóáramot és egyidejűleg nagy indító nyomatékot kell kifejteni, akkor másfajta, pl. csúszógyűrűs forgórészű motort alkalmaznak.

Csillagból háromszögbe kapcsolni csak azokat a motorokat lehet, amelyek háromszögkapcsolású üzemmódra készültek (pl. 380 V △), azaz tekercseiket az adott hálózat vonali feszültségére méretezték.

Ismeretes, hogy a névlegesnél tartósan kisebb terheléssel üzemelő villamos motorok teljesítménytényezője (cos φ) igen alacsony, ezért ajánlatos az ilyen motorokat kisebb teljesítményűre kicserélni. Ha cserére nincs mód, a teljesítménytartalék pedig nagy, akkor jobb cos φ érhető el háromszögből csillagba történő átkapcsolással. Ilyenkor meg kell mérni az állórész áramát, és meg kell győződni, hogy csillagkapcsolás esetén – terhelt állapotban – az állórész árama nem lépi-e túl a névleges áramerősséget. Ha túllépés tapasztalható, és emiatt a motor jelentősen melegedne, akkor ezt a módszert természetesen nem választhatjuk.

3. A TRANSZFORMÁTORTEKERCSEK KAPCSOLÁSA

A generátortól a fogyasztóhoz vezető úton a villamos energiát általában többször transzformálják. A generátorfeszültséget az erőműben feltranszformálják, hogy az energia nagy távolságra gazdaságosan továbbítható legyen (pl. 400 kV) és az elosztóállomásban a feszültséget pl. 20 vagy 10 kV-ra letranszformálják és az energiát ilyen feszültségszintű szabadvezeték- vagy kábelhálózaton osztják szét.

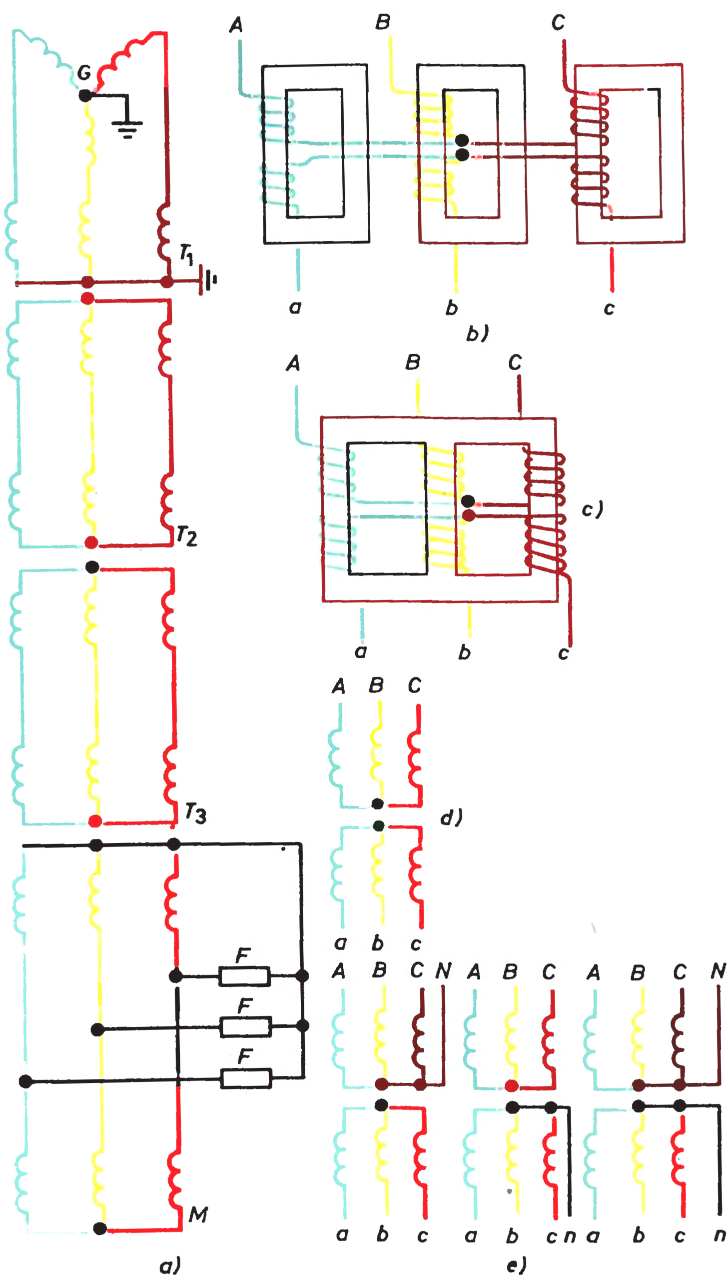
A fogyasztók közelében az ún. fogyasztói transzformátorállomásokban a feszültséget 20 vagy 10 kV-ról még egyszer transzformálják, pl. 400/231 V-ra (14*a* ábra).

A transzformátorok sajátossága, hogy primer és szekunder tekercseik villamosan el vannak szigetelve egymástól és csak mágneses kapcsolat van közöttük. A primer és szekunder tekercsek közötti energiatovábbító a mágneses fluxus, következésképpen annak nagysága, alakja és fázisa határozza meg a transzformátorban a szekunder tekercs feszültségének nagyságát, szinuszos vagy nem szinuszos alakját és fázisát. Más szóval a mágneses fluxusnak olyannak kell lennie, hogy a három fázis szekunder tekercseiben a feszültségek egyenlők legyenek, és egymáshoz képest 1/3 periódusnyira legyenek eltolva.

Elsődlegesen a transzformátor tekercseinek kapcsolásától függ az igény teljesítése, kiegészítve azzal, hogy emellett a veszteséget és az üresjárási áramot a vasmag szerkezeti felépítése is befolyásolja.

A feszültségek egyenlősége azért szükséges, hogy a különböző fázisokra kapcsolt azonos teljesítményű lámpák azonosan világítsa-

14. ábra. Transzformátorok csillagkapcsolása



G
T1
T2
T3
F
F
F
M
a)
A
B
C
a
b
c
b)
A
B
C
c)
a
b
c
A B C
d)
a b c
A B C N A B C A B C N
a b c a b c n a b c n
e)

nak, vagy a háromfázisú motor minden tekercse részt vegyen a forgatónyomaték képzésében.

Az 1/3 periódusnyi kölcsönös eltolódás fontos pl. az egyenletesen forgó mágneses mező létrehozásához a háromfázisú motorokban, és a háromfázisú transzformátorokban a mágneses egyensúly biztosítására.

Transzformátortekercsek csillagkapcsolása

A 14*a* ábrán példák láthatók generátor (*G*), három transzformátor (*T*1, *T*2, *T*3), villamos motor (*M*) és egyfázisú fogyasztó (*F*) kapcsolására. Az adott példában a generátor, a transzformátorok és a villamos motor tekercseit csillagba kapcsolták. Nem nehéz észrevenni, hogy a *T*1 transzformátor primer tekercse fogyasztó a generátor (*G*) számára, szekunder tekercse pedig áramforrás a *T*2 transzformátor primer tekercse számára. Ennek szekunder tekercse áramforrás a *T*3 transzformátor primer tekercse számára, ugyanakkor a *T*3 transzformátor szekunder tekercséről kapja a táplálást a villamos motor (*M*) és a terhelés (*T*).

A *T*1, *T*2 és *T*3 transzformátorok kapcsolási vázlatainak összehasonlításából látható, hogy azok nem egyformák. Így a *T*1 trans - formátor primer tekercsének csillagpontja le van földelve és következésképpen kapcsolatban van a *G* generátor földelt csillagpontjával. A *T*2 transzformátor tekercseinek csillagpontjai nincsenek kivezetve. A *T*3 transzformátornál a szekunder tekercs csillagpontját kivezették ugyan, de a földtől elszigetelték. Természetesen a 14*a* ábrán bemutatott kapcsolások egyáltalán nem kötelezők, és csak tipikus csillagkapcsolási eseteket illusztrálnak.

A 14*b* és *c* ábrák értelemszerűen azt mutatják, hogyan kapcsolható csillagba három, egyfázisú transzformátor.

A 14*d* ábrán példákat adunk a transzformátortekercsek különböző csillagkapcsolására. Itt szólunk a transzformátorok kapcsainak jelöléséről is. A háromfázisú transzformátor nagyobb feszültségű tekercselésének vonali kapcsait *A*, *B*, ill. *C* betűkkel, esetleges nullakapcsát *N* betűvel kell jelölni.

A háromfázisú transzformátor közbenső feszültségű és kisebb feszültségű tekercselésének vonali kapcsait *a*, *b*, ill. *c* betűkkel, esetleges nullakapcsát *n* betűvel kell jelölni.

Háromfázisú transzformátor nyitott nagyobb, ill. közbenső és kisebb feszültségű tekercseléséhez tartozó fázistekercsek vonali kapcsait az előzőknek megfelelően *A*, *B*, *C*, ill. *a*, *b*, *c* betűkkel, a másik végüket *X*, *Y*, *Z*, ill. *x*, *y*, *z* betűkkel kell jelölni.

A csillagpontföldelés kérdései

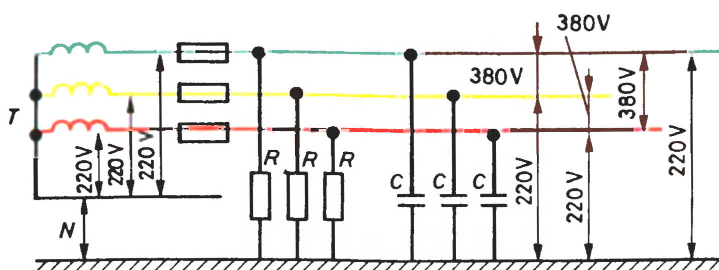
Hazánkban a 20 kV-os szabadvezetékes hálózatok csillagpontja ívoltó tekercsen keresztül földelt; a 10 kV-os kábelhálózatok csillagpontja a tápponti transzformátorállomásban ellenálláson keresztül van földelve. A közcélú kisfeszültségű hálózat közvetlenül földelt.

Röviden vizsgáljuk meg, hogy az 1000 V alatti hálózatokban miért földelik le a nullavezetőt, és néha pedig milyen megfontolásokból részesítik előnyben a szigetelt nullavezetőket, és mire szolgálnak a földzárlati áramnövelő ellenállások.

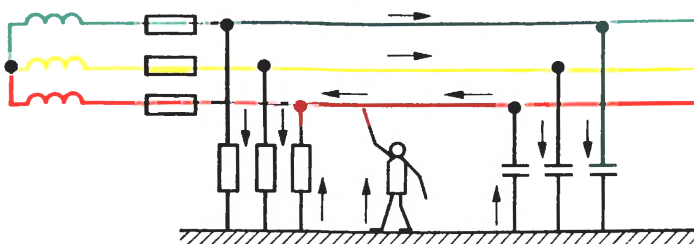
A 15*a* ábra *Tr* transzformátor szekunder tekercseit mutatja. Ezek 380/220 V-os négyvezetős hálózatot táplálnak, nullavezetőjük szigetelt. Tegyük fel, hogy a vizsgált pillanatban a szigetelés teljesen ép. Ennek ellenére az ábrán három, csillagba kapcsolt *R* ellenállás látható. Ezek nullavezetője a föld. Az ellenállások a vezetők szigetelését ábrázolják. A szigeteléseken keresztül azonban bizonyos értékű áram folyik. Ugyancsak ezen az ábrán látható három, csillagba kapcsolt *C* kondenzátor. Ezek nullavezetője is a föld. A kondenzátorok feltételesen a vezetők földhöz viszonyított villamos kapacitását ábrázolják, ami a váltakozóáramú villamos berendezésekben nagyon fontos szerepet játszik, mivel a kondenzátor vezeti a váltakozóáramot.

Milyen feszültségek vannak a vizsgált villamos berendezésben? A fázisvezetők között 380 V, a fázisvezetők és a transzformátor nullavezetője között 220 V, valamennyi fázisvezető és a föld között 220 V van, hiszen a föld lett a három, egyforma *R* ellenállásból, ill. három egyforma *C* kondenzátorból kialakított csillagkapcsolás nullavezetője. S ha a fázisvezető és a transzformátor nullavezetője között ugyanakkora feszültség lép fel, mint a földhöz képest, akkor világos, hogy a transzformátor nullavezetője és a föld közötti feszültség nullával egyenlő.

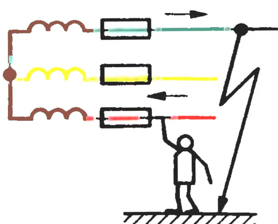
Ez a megállapitásunk azonban elvi jelentőségű. Ugyanis a transzformátor szigetelt nullavezetője és a föld közötti feszültség csak azokban az esetekben egyenlő nullával, amikor a hálózat terheletlen,



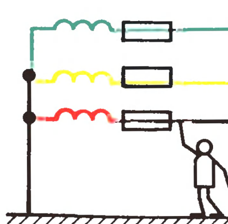
a)



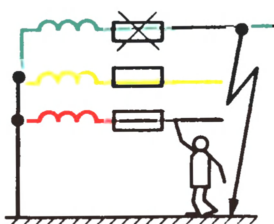
b)



c)



d)



e)

15. ábra. A csillagpont potenciálja.
Háromfázisú rendszerek csillagpontjának földelése

vagy valamennyi fázis terhelése teljesen azonos. Egyenlőtlen fázisterhelés esetén csillagpont-eltolódás figyelhető meg. Részletesebben erre a fontos kérdésre ugyanebben a fejezetben még visszatérünk.

Ha a földön álló ember érintkezésbe kerül a fázisvezetők valamelyikével, ez veszélyes számára, mert nem tökéletes szigetelésen, a vezeték kapacitásán, és az emberi testen is áthaladhat az áram. Az áthaladó áram irányát egy bizonyos időpillanatban a 15*b* ábra szemlél-

teti. Az áramerősséget, ill. az annak következtében előálló veszély mértékét, az ellenállások, kondenzátorok és fázisfeszültségek értékei határozzák meg. Adott esetben azzal kell számolni, hogy a vezetéket megérintő személy 220 V feszültségen van.

Mi történik viszont egysarkú földzárlat esetén, ha a földön álló ember hozzáér a másik fázisvezetőhöz? A 15*c* ábrából világosan látható, hogy nem a fázis-, hanem a 380 V-os vonali feszültséget hidalja át, ami jóval veszélyesebb.

Földelt nullavezetőjű hálózatokban a földön álló és a fázisvezetőt megérintő ember fázisfeszültség alá kerül (15*d* ábra). Egysarkú földzárlat esetén (15*e* ábra) a biztosító kiolvad, de a feszültségnövekedés a fázisfeszültségről a vonali feszültségre nem következik be.

Ez azt jelenti, hogy a leggyakrabban előforduló 380/220 V-os földelt nullavezetőjű hálózatokban a csupasz vezetőt érintő ember legfeljebb 220 V feszültség alá kerülhet.

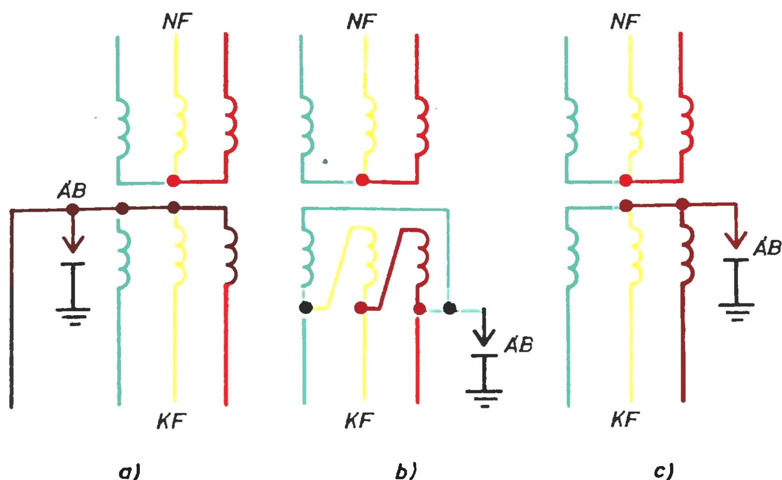
A transzformátor kis- (KF) és nagyfeszültségű (NF) tekercsei közötti szigetelés megsérülése a kisfeszültségű hálózatban tömeges szigetelésátütéshez és áramütéses balesetekhez vezethet. E veszélyes jelenségek elhárítása érdekében a szigetelt nullavezetőjű hálózatokban *ÁB* átütőbiztosítókat alkalmaznak. A biztosítót csillagkapcsolás esetén a transzformátor nullavezetője és a föld közé kapcsolják (16*a* és *c* ábrák), háromszögkapcsolás esetén az egyik fázisvezető és a föld közé kötik be, amint ezt a 16*b* ábra szemlélteti.

Az átütőbiztosítóban (ami földzárlati áramnövelő ellenállás szerepét is betölti) az egyik áramvezető elemet a transzformátor nullavezetőjéhez (fázisához) kötik, míg a másik elemet földelik. A két rész között átfúrt (lyukakat tartalmazó) csillámbetét helyezkedik el. Névleges feszültség esetén a betét biztonságosan szigeteli a nullavezetőt (fázist) a földtől. Azonban, ha a nagyobb feszültségű tekercsből a kisebb feszültségű tekercsre feszültségáthatolás következik be, az átütőbiztosító működik és leföldeli a tekercset.

Közvetlenül földelt csillagpont esetén nincs szükség ilyen megoldásra.

Az életbiztonsági feltételeken kívül van még egy fontos kérdés, nevezetesen a *fogyasztók zavartalan energiaellátása,* ennek megvalósítása szempontjából sem mindegy, hogy leföldeljük-e a csillagpontot vagy sem.

Szigetelt vagy földeletlen csillagpontú hálózatban egysarkú földzárlat esetén a biztosítók nem olvadnak ki (a kismegszakító nem old



16. ábra. Olvadóbiztosítók szigetelt csillagpontú hálózatokban

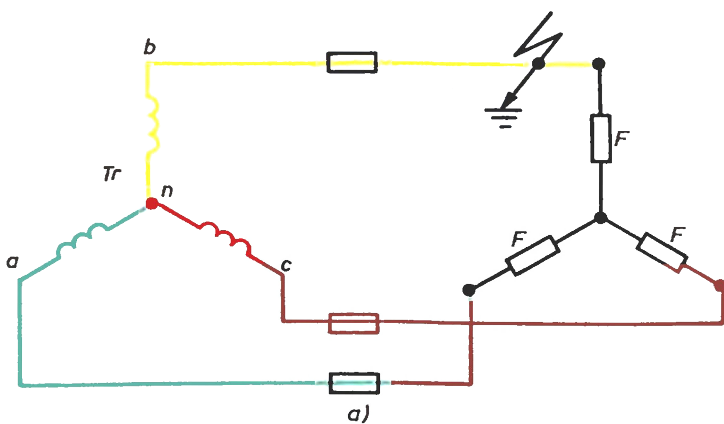
le), mivel nincs rövidzárlat. Elvileg tartósan, a gyakorlatban korlátozott ideig azonban a fogyasztók még üzemben maradhatnak.

Ezzel szemben a földelt csillagpontú hálózatban a fázisvezető szigetelésének megsérülése rövidzárlatot idéz elő, aminek következtében a biztosítók kiolvadnak, vagy a kismegszakító lekapcsol, a fogyasztók üzemében zavar keletkezik. Tehát a fogyasztói áramszolgáltatás biztonsága magasabb szintű a földeletlen csillagpontú hálózatokban.

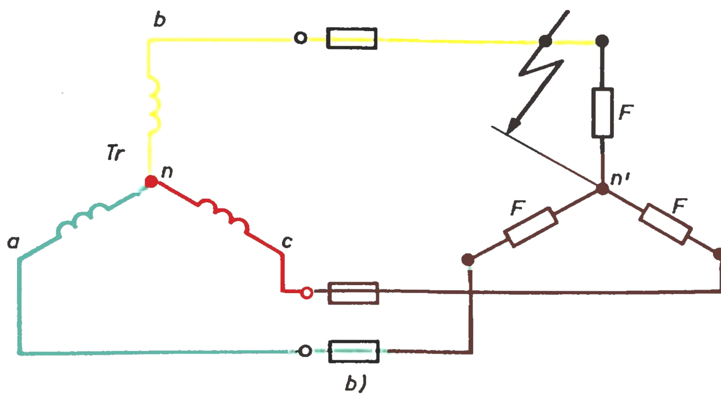
Ki kell emelnünk a következő legfontosabb körülményeket:

a) Bár a szigetelt (földeletlen) csillagpontú hálózatokban lehetséges a fogyasztók további üzeme, az ilyen üzemmód veszélyes a többi fázis és a csatlakozóberendezés szigetelésére. Ez abból adódik, hogy a fázisok egyikének fémes földzárlata esetén a többi fázis feszültsége a „földhöz" viszonyítva megnövekszik a névleges feszültség 1,73-szorosára, a csillagpont feszültsége pedig eltolódik és egyenlővé válik a földhöz viszonyított fázisfeszültséggel. Egysarkú földzárlatkor (17*a* ábra) ugyanis az *ab*, *bc*, *ca* vonali feszültségek ugyanazok marad-

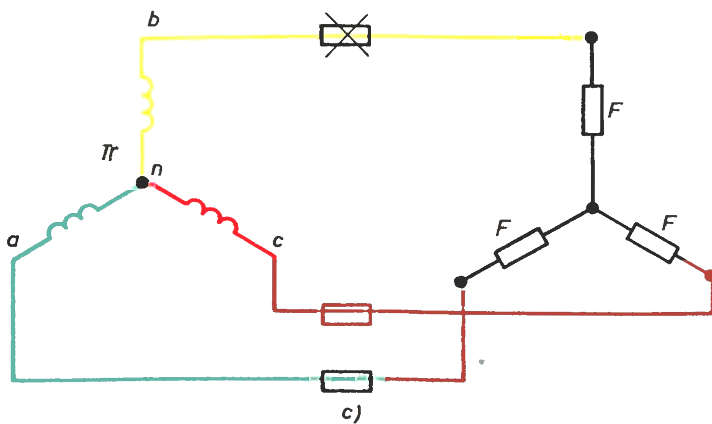
17. ábra. A csillagpont eltolódása szigetelt csillagpontú hálózatokban, rendellenes üzemállapotban



a)



b)



c)

nak és nem változnak az *an*, *bn*, *cn* fázisfeszültségek sem. De a földhöz viszonyítva a feszültségek megváltoznak. Az *a* és *c* fázisé az *ab* és *bc* értékéig növekszik. A *b* fázisé a földhöz képest nullára csökken. A nullavezető feszültsége a földhöz képest 0-tól az *nb* értékéig növekszik, azaz a fázisfeszültséggel azonos értékű lesz.

Ha a zárlat íven keresztül (ívelő földzárlat formájában) következik be, akkor a hibátlan fázis feszültsége 2...3,5-szeresével meghaladhatja a fázisfeszültséget. A zárlat helyén áthalad valamennyi fázis kapacitív árama, amely kábelhálózatnál nagy értékű és emiatt veszélyes melegedést idézhet elő a szigetelésben. Ezért a transzformátorállomásokon és elosztóállomásokon gyakran alkalmaznak olyan készülékeket, amelyek a szigetelés földhöz viszonyított értékét ellenőrzik.

b) Ha a fogyasztói csillagpont nincs összekapcsolva a transzformátor szekunder tekercsének csillagpontjával (17*b* ábra), akkor az egyik fázis rövidzárlata esetén a *b* fázisvezető potenciálja egybeesik a fogyasztó *n'* csillagpontjával. Ez azt jelenti, hogy az *a* és *c* fázisra kapcsolt fogyasztóra jóval nagyobb feszültség jut (vonali feszültség a fázisfeszültség helyett).

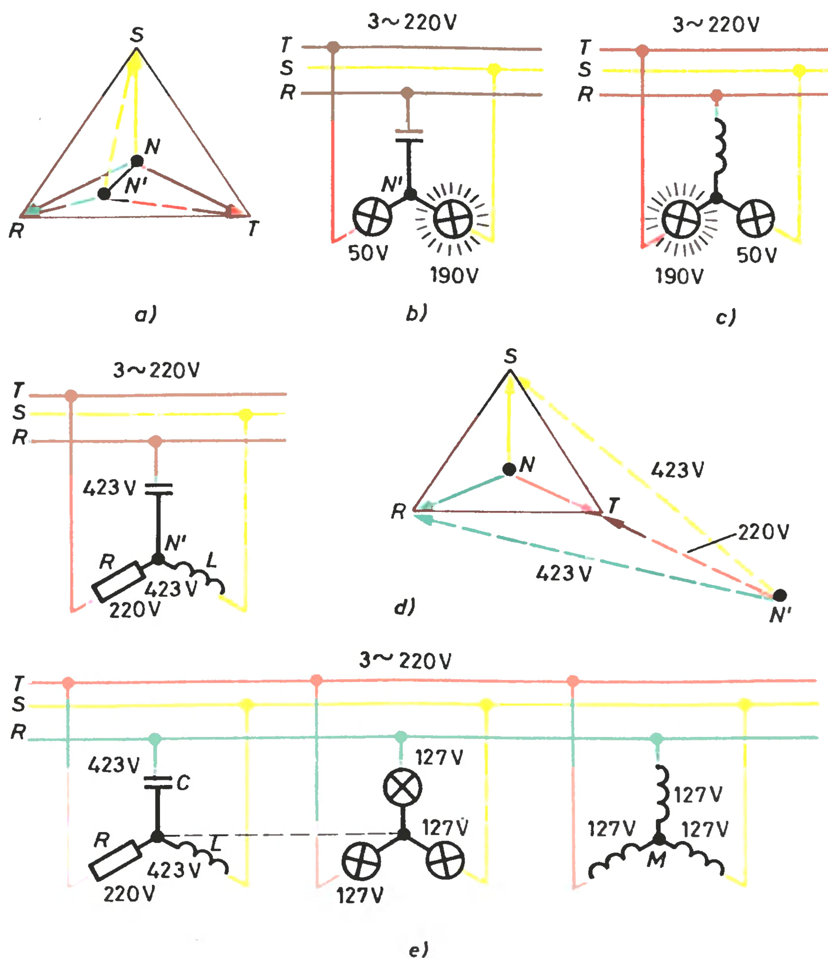
c) Ha a fogyasztói *n'* csillagpont nincs kapcsolatban a transzformátor szekunder tekercsének *n* csillagpontjával (17*c* ábra), és egy fázisban, például a *b*-ben kiolvad a biztosító (áthúzva), akkor az *a* és *c* fázisokon a feszültség csökken és $380:2 = 190$ V lesz, $380:\sqrt{3} = 220$ V helyett (380/220 V-os hálózatot vizsgálva). A kiolvadt biztosító érintkezőin a feszültség 1,5-szer nagyobb a fázisfeszültségnél, azaz $220 \times 1{,}5 = 330$ V.

A csillagpont eltolódása

Az előző, 17. ábra a csillagpont eltolódásának mértékét illusztrálja fáziszárlat, rövidzárlat, fázisszakadás esetén. A csillagpont viszont a szokványos üzemmódokban a fázisok egyenlőtlen terhelése miatt is eltolódhat.

Vizsgáljunk meg néhány példát!

Azonos jellegű – tehát valamennyi fázis terhelése vagy hatásos (lámpák, fűtőtestek), vagy induktív, vagy kapacitív – de nem egyenletes terhelés esetén a csillagpont az *N* pontból (18*a* ábra) az *N'* pontba tolódik el, az eltolódás iránya és annak értéke a fázisok terhelési viszonyaitól függ. Az *N*–*N'* szakasz meghatározott léptékben ábrázolja



18. ábra. Csillagponteltolódás különböző terheléstípusok esetén

a transzformátor csillagpontja és a terhelési csillagpont közötti feszültséget. Ez a feszültség hozza létre az áramot a nullavezetőben, ha:

a) az *F* terhelés és a *T*3 transzformátor szekunder tekercsének nullavezetői össze vannak kötve (14*a* ábra);

b) a *T*1 feszültségnövelő transzformátor primer tekercsének és a *G* generátor csillagpontjai össze vannak kötve (14*a* ábra).

Ha a csillagpontok nincsenek összekötve, akkor a transzformátorban megbomlik a mágneses egyensúly.

Különösen jelentősen tolódik el a terhelés csillagpontja heterogén terhelés esetén, még akkor is, ha az egyes fázisok terhelése abszolút értékben megegyező. A 18*b* ábrán pl. a *T* és *S* fázisokra izzók vannak kapcsolva (hatásos terhelés), az *R* fázishoz pedig a *C* kondenzátor. A csillagpont ilyenkor annyira eltolódik, hogy az egyik izzó egészen halványan világít (50 V), a másik pedig egészen világosan (190 V). Hasonló a kép, ha a kondenzátort *L* induktív tekerccsel váltjuk fel, de most a másik izzó fog fényesebben világítani (18*c* ábra). Ez azzal magyarázható, hogy az áram a kondenzátorban siet, az induktív tekercsben pedig késik a feszültséghez képest.

Még szembetűnőbb csillagpont-eltolódást mutat a 18*d* ábra, ahol az *R* fázisra kondenzátort, az *S* fázisra induktív tekercset, a *T* fázisra pedig hatásos terhelést kapcsoltak. A terhelés *N'* csillagpontja a háromszög körvonalát elhagyja, a feszültségek értéke az egyes terheléseken 423, ill. 220 V, azaz többszöröse a 127 V-os fázisfeszültségnek.

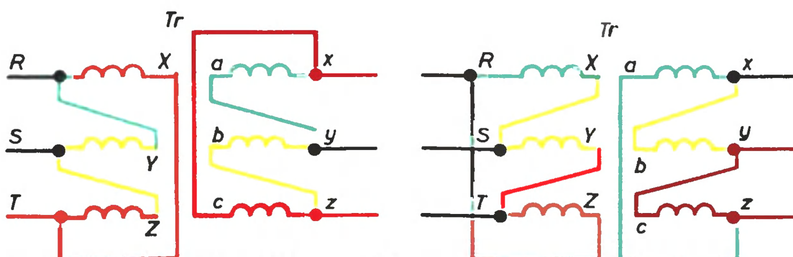
A 18*b* és *d* ábrákon bemutatott példákon a terhelési csillagpont eltolódásáról volt szó, és nem a generátor vagy a transzformátor szekunder tekercse csillagpontjának eltolódásáról. A csillagba kapcsolt kondenzátoron, induktív tekercsen és ellenálláson (18*b*...*d* ábra) a feszültségek valóban erősen megváltoztak a fázishoz képest. De kihat-e ez más, ugyanerre a hálózatra kapcsolt fogyasztók üzemére? Hogy válaszolhassunk erre a kérdésre, tekintsük a 18*e* ábrát, feltételezve, hogy a szaggatott vonalas kapcsolat hiányzik. Könnyen belátható, hogy a fogyasztók minden csoportjának (az *R*, *C*, *L* csoportnak, az izzóknak, az *M* motornak) megvan a maga csillagpontja. Három, egyforma lámpa egyenletes, azonos jellegű terhelést képez, ezért csillagpontjuk nem tolódik el, következésképpen a feszültségek a lámpákon egyformák és egyenlők, példánkban 127 V. Ugyanezt mondhatjuk a motor tekercseinek feszültségéről is.

Másként áll a dolog, ha a fogyasztók csillagpontjai össze vannak kapcsolva (szaggatott vonal). Akkor a terhelések kölcsönhatása feltétlenül megvan, de hatásfokát a terhelések viszonya adja meg. Az is világos, hogy minél kiterjedtebb a hálózat és nagyobb teljesítményűek a generátorok és transzformátorok, annál kisebb az egyes fogyasztók hatása a csillagpont eltolódására.

Az eltérő terhelések csak akkor vannak hatással a többi fogyasztó üzemére, ha az eltérés mértéke viszonylagosan olyan, hogy megbonthatja a transzformátorok mágneses egyensúlyát.

Transzformátortekercsek háromszögkapcsolása

A generátoroktól eltérően a transzformátorokban a tekercsek közül legalább az egyik általában háromszögkapcsolású (19. ábra).



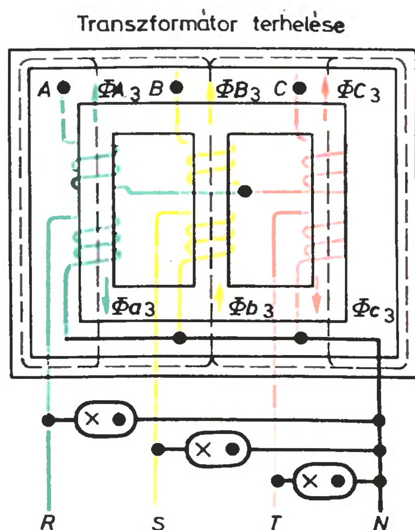
19. ábra. Transzformátorok háromszögkapcsolása

A 14*b* ábrán bemutattuk három, egyfázisú transzformátor csillagkapcsolását, a 14*c* ábrán pedig egy háromfázisú magtípusú transzformátort. A csillagpont nincs kivezetve. Ilyen körülmények között a mágneses fluxus nem szinuszos jellegű. Az egyfázisú transzformátorokból felépített háromfázisú transzformátor és a háromoszlopos vasmaggal kialakított transzformátor azonban különbözőképpen viselkedik. Az egyfázisú transzformátoroknál minden fázisnak van egy saját, semmivel kapcsolatban nem álló mágneses vezetője, és azon keresztül könnyen záródik a harmadik felharmonikus kiegészítő (járulékos) mágneses fluxusa. E mágneses fluxus értéke nagy és következésképpen nagy a fázisfeszültségek torzulása is. A háromoszlopos transzformátorban valamennyi fázis mágneses vezetője össze van kapcsolva, a járom pedig a harmadik felharmonikusok mágneses fluxusai számára áthatolhatatlan. Ezek a fluxusok így a transzformátorolajon, a levegőn vagy a transzformátor burkolatán keresztül kénytelenek záródni (20. ábra), és ezért jelentősen legyengülnek. Viszont, ha a harmadik felharmonikusok mágneses fluxusai csekélyek,

akkor nem nagy a fázisfeszültségek alakjának torzulása sem. Ezekkel arra kívántunk rámutatni, hogy mennyire fontos figyelemmel lenni nemcsak a tekercsek villamos kapcsolásaira, hanem a köztük levő mágnesköri kölcsönös kapcsolatokra is. Nézzük ezt két példán!

Egyik példánkban párhuzamosan két transzformátor üzemel, az egyik csillag–háromszögbe, a másik csillag–csillagba van kapcsolva. A csillagba kapcsolt primer tekercsek csillagpontjait összekapcsolták. Ebben az esetben az egyik transzformátor háromszögbe kapcsolt tekercse harmadik felharmonikus áramot ad mindkét transzformátor számára, s ez túlterhelést okozhat.

A másik példában az egyfázisú transzformátorok háromfázisú csoportját és egy háromfázisú magtranszformátort párhuzamosan kapcsoltak. Mindkét transzformátor nullavezetője össze van kapcsolva. Az egyfázisú transzformátorok csoportjánál a harmadik felharmonikusok feszültségei jóval magasabbak, mint a háromfázisú

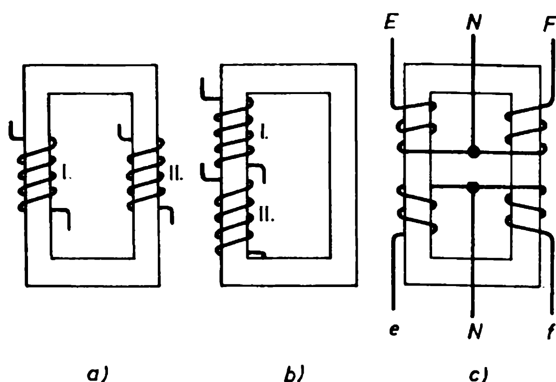


20. ábra. Az alapfrekvenciájú Φ_{A1}, Φ_{B1}, Φ_{C1} mágneses fluxusok kölcsönösen kiegyenlítődnek, ugyanis egyenlők, és fázisban 1/3 periódusnyira vannak eltolva.
A harmadik felharmonikusok Φ_{A3}, Φ_{B3}, Φ_{C3} fázisban egybeeső mágneses fluxusai egyforma irányúak és ezért kénytelenek a transzformátorházon keresztül záródni

transzformátornál. A transzformátorok harmadik felharmonikus feszültségei közötti különbség hatására, bennük harmadik felharmonikus áram keletkezik. Ez az áram csökkenti az egyfázisú transzformátorok harmadik felharmonikus feszültségét, de növeli azokat a háromoszlopos transzformátorban is.

Transzformátorok terhelésének hatása a feszültségre

A 21*a*...*c* ábrákon bemutatunk három egyfázisú transzformátort, amelyek a következőkben térnek el egymástól. A 21*a* ábrán levő transzformátorban a primer (I) és szekunder (II) tekercsek különböző oszlopokon helyezkednek el, a 21*b* ábrán pedig egy oszlopon. A 21*c* ábrán minden tekercs két félből áll, méghozzá felenként a primer és szekunder tekercsek egy oszlopon vannak; a tekercsek középső pontjaitól kivezetést készítenek.



21. ábra. A nem szimmetrikus terhelés hatása a transzformátor üzemére. A pontok a tekercsek kezdetét jelzik

A primer és szekunder tekercsek egy oszlopon való elhelyezése jobb, ugyanis a mágneses kapcsolat a tekercsek között tökéletesebb. Ha a primer és szekunder tekercsek különböző oszlopokon helyezkednek el (21*a* ábra), akkor a primer tekercs mágnesezőárama által létrehozott mágneses fluxusnak csak egy része járja át a szekunder tekercs meneteit, másik része szétszóródik.

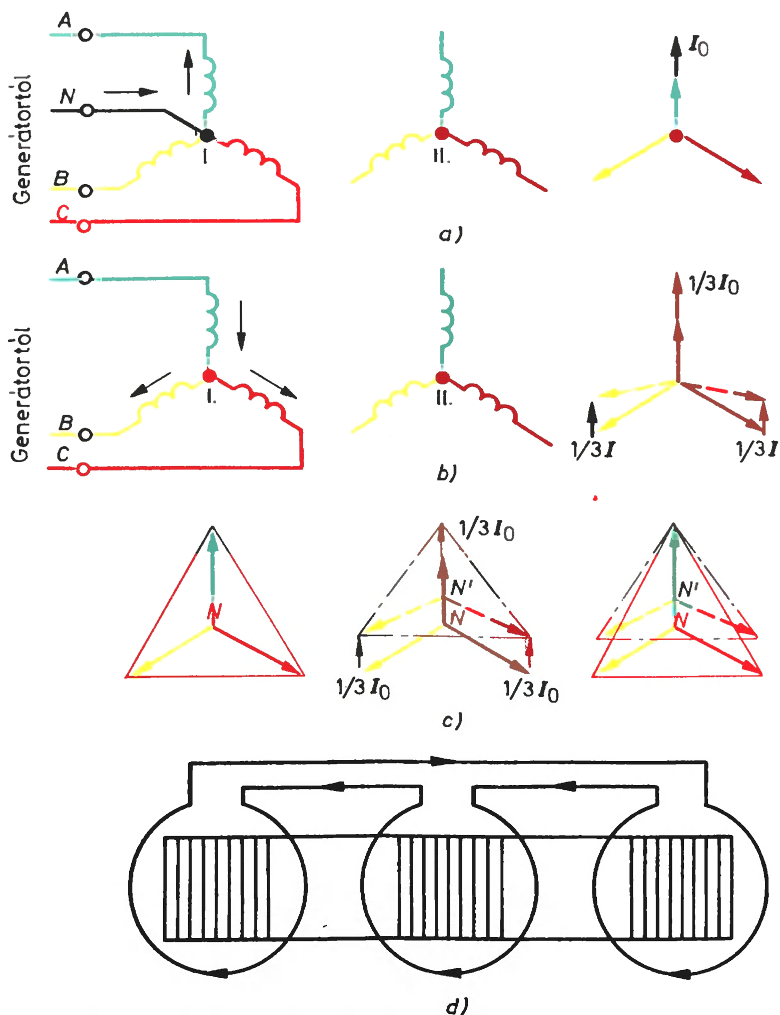
Amíg a transzformátor nincs terhelve (üresjárásban van), annak mágneses körében csak a primer tekercs mágneses feszültsége hat. Amikor viszont a transzformátort terhelik, ugyanabban a mágneses körben még egy mágneses feszültség keletkezik, a szekunder tekercs feszültsége. A Lenz-törvény szerint ez a transzformátort lemágnesezi. Ezért a mágneses fluxus kissé csökken, ez pedig azt jelenti, hogy csökkennie kellene a primer tekercs feszültségének is. De a ráadott primer feszültség azaz a hálózati feszültség – változatlan marad. A hálózati feszültség és a primer feszültség közötti különbség megnő és természetesen a primer tekercsben is megnövekszik az áram. Az áram növekedése szigorúan meghatározott: ez kompenzálja a szekunder tekercs lemágnesező hatását, aminek eredményeként üresjáratban és terhelés alatt is fennmarad az egyensúly a transzformátorok mágneses körében.

A magtranszformátorok sajátosságai

Vizsgáljuk meg a háromfázisú magtranszformátor üresjárásának feltételeit! A középső fázis ellenállása kisebb, mint a szélső fázisok ellenállása, ugyanis a középső fázis mágneses köre rövidebb. Ez látható a 20. ábrán. A mágneses ellenállások egyenlőtlensége a mágnesezőáramok egyenlőtlenségéhez vezet: a középső fázisban a mágnesezőáram kisebb. Ugyanakkor a primer tekercsre kapcsolt szimmetrikus feszültség hatására a mágnesezőáramok geometriai összegének egyenlőnek kell lennie nullával. Más szóval, szükséges, hogy a mágnesezőáramok vagy egyenlők, vagy aszimmetrikusak legyenek (azaz a köztük levő szög 120°-tól eltérő értékű legyen). Tételezzük fel, hogy a csillagkapcsolású primer tekercs csillagpontja a generátor nullavezetőjéhez kapcsolódik. Ebben az esetben a nullavezetőn egyenlítődik ki a „kiegyenlítő” I_0 áram (22*a* ábra).

Szimmetrikus terhelés esetén valamennyi fázistekercsben azonos nagyságú áram folyik, a feszültségesés minden fázistekercsben egyenlő egymással és a tekercsek feszültségei azonos értékkel csökkennek. Más szóval, ha a rendszer üresjárásban szimmetrikus volt, akkor terhelés esetén is az marad.

Aszimmetrikus terhelés esetén a fázistekercsekben folyó áramok nem egyenlők, és ezért a feszültségesés sem egyforma. Ennek eredményeként egyes kapcsok között a vonali feszültség csökken, más kap-



22. ábra. Háromfázisú oszloptranszformátor mágneses kiegyenlítődése
a) Az I_n áram a transzformátor primer tekercsére az *N* nullavezetőn keresztül jut;
b) ha a primer tekercsnek nincs nullavezetője, az I_n áram a fázisok között oszlik meg;
c) a csillagpont eltolódása 0-ból 0′-be;
d) az egyfázisú áram háromszögkapcsolásban mintegy átfogja mind a három oszlopot

csok között pedig esetleg még növekedhet is. Aszimmetrikus terhelés esetén a szekunder feszültség változásai a tekercsek kapcsolási módjaitól függenek. Általános megfogalmazásban ez a következőkre vezethető vissza.

A háromfázisú (villamos motorok) és egyfázisú (világítás, háztartási készülékek) terheléseket tápláló (fogyasztói) transzformátorok szekunder tekercseit általában csillagba kapcsolják, hogy két feszültséget nyerjenek, 220 V-ot az egyfázisú terhelések számára és 380 V-ot a villamos motorokhoz. A transzformátorok primer tekercseit három módszerrel lehet összekapcsolni: csillagba, kivezetett csillagponttal (22*a* ábra), háromszögbe és csillagba, szigetelt csillagponttal (22*b* ábra).

Ha a primer tekercsnek nincs nullavezetője, akkor a „kiegyenlítő" áram egyenlően oszlik meg a három fázis között (22*b* ábra), mivel viszont ez az áram egyfázisú, ezért valamennyi oszlopban egyirányú mágneses fluxusokat képez. Ezek a levegőn és a transzformátor burkolatán keresztül záródnak. A kiegészítő mágneses fluxus következménye a fázisfeszültségek csillagpontjának elmozdulása az N pontból az N' pontba (22*c* ábra). Az ábra a következőképpen szerkeszthető meg. Bal oldalon látható az áram vektorábrája és az N csillagpont helyzete, feltételezve a mágneses kör mágneses ellenállásainak egyenlőségét. A középső vektorábra már a valódi helyzetet tükrözi, amikor is minden fázis áramához hozzáadjuk az $1/3I_0$-t: a csillagpont ilyenkor az N' pontban van. Végül a jobb oldali diagram a bal oldali és középső diagramot egy ábrán mutatja be. Ezen világosan látható a csillagpont eltolódása.

Ha a transzformátornak van háromszögbe kapcsolt tekercse, akkor az zárt kört képez, amely körülveszi a transzformátor mindhárom oszlopát (22*d* ábra). Ebben a körben az egyfázisú áram hatására olyan áram indukálódik, amely jelentős mértékben gyengíti a járulékos fluxus káros hatásait.

A 22*a* ábrán látható kapcsolás lenne a legkedvezőbb, mivel a primer és szekunder tekercsek mágneses fluxusai kiegyenlítődnek, azonban ez a gyakorlatban nem alkalmazható. Ehhez szükség lenne vagy a primer tekercs négyvezetős táplálására (három vezető helyett), vagy a csillagpont földelésére. Azonban a 10 és 20 kV-os elosztóhálózatokban a csillagpontot közvetlenül – itt nem tárgyalt okokból – nem földelik.

A primer tekercsek háromszögbe kapcsolásakor az egyfázisú terhelés csekély mértékben torzítja a feszültséget (l. a 22*d* ábrához fűzött magyarázatot). Azonban a primer tekercsek háromszögkapcsolása drágább, mint a csillagkapcsolás (háromszögkapcsolás esetén minden fázist vonali feszültségre kell méretezni, azaz 1,73-szor több menetre van szükség).

A primer tekercsek legelterjedtebb kapcsolása a szigetelt csillagpontú csillagkapcsolás (22*b* ábra), annak ellenére, hogy nagy egyfázisú terhelés esetén a csillagpont erősebben tolódik el és megbomlik a feszültségek szimmetriája, viszont az ilyen transzformátorok olcsóbbak. Ha az egyfázisú terhelés olyan nagy, hogy a csillagpont eltolódása eléri a megengedhetetlen értéket, akkor megnövelve a transzformátorok árát, a szekunder tekercseket zegzugba kapcsolják.

Zegzugkapcsolás esetén 15%-kal több menetre van szükség. Ezenkívül a transzformátorok belső kapcsolása is jóval bonyolultabb.

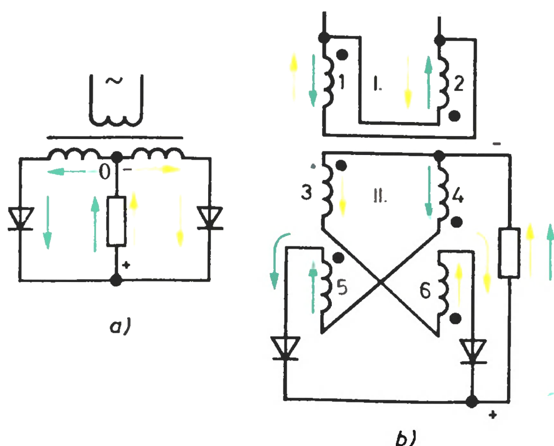
Zegzugkapcsolású transzformátortekercsek

A zegzugkapcsolás háromfázisú transzformátorban használatos, különleges csillagkapcsolás, amelyben minden fázistekercs két-két olyan sorba kötött tekercsből áll, amelyek feszültségei nincsenek fázisban egymással. A legáltalánosabban használt zegzugkapcsolásban a fázistekercsek két-két tekercsének egyenlő a menetszáma, ciklikus rendszerben kapcsolódnak egymáshoz, és feszültségvektoruk között 60° fáziskülönbség van.

A zegzugkapcsolást azért használják, hogy a szekunder tekercsek egyenlőtlen terhelését egyenletesebben osszák meg a primer hálózat fázisai között, ill. hogy egyenlőtlen terhelés esetén se keletkezzék kiegyenlítőáram a transzformátorban.

Az egyfázisú transzformátor zegzugkapcsolását egy tipikus példán tekintjük át.

A 23. ábra szerinti kivezetett csillagpontú transzformátor egy kétszer félperiódusos egyenirányítót táplál. Ilyenkor a transzformátor szekunder tekercseit zegzugba kell kapcsolni. A könnyebb érthetőség kedvéért vizsgáljuk meg a 23*a* ábrát. Ezen egy egyfázisú transzformátor látható két szekunder tekerccsel, amelyek között ki van vezetve a középső *N* (nulla)pont. Ez a pont képezi az egyenirányító ne-



23. ábra. Példák egyfázisú transzformátorok zegzugkapcsolására

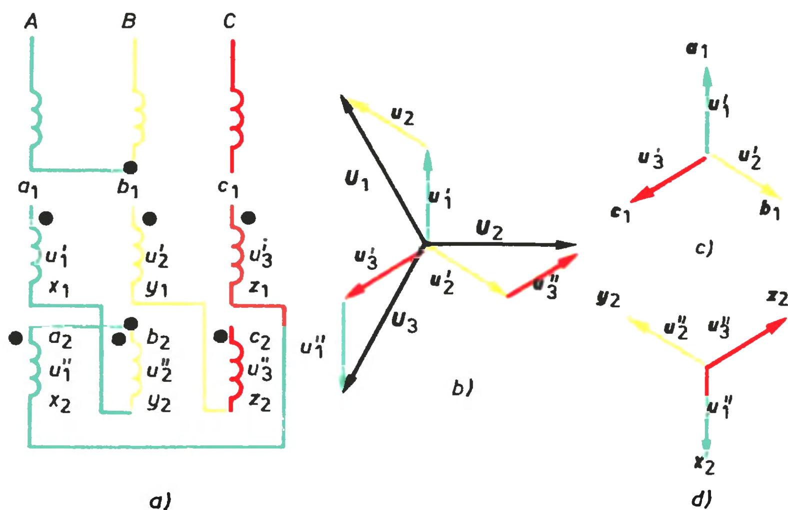
gatív sarkát. Minden szekunder tekercsben a nullaponttól a tekercsek *a* és *b* külső végei felé vesszük fel a pozitív irányt, ami értelemszerűen megegyezik a *B*1 és *B*2 egyenirányítók vezetési irányaival. Az áram irányát a pozitív félperiódusban zöld, a negatívban a sárga nyíl mutatja. E megoldás kellemetlen sajátossága abban nyilvánul meg, hogy a transzformátor szekunder tekercsein egyirányú áram, azaz olyan áram halad, amely nemcsak változó, de állandó összetevőket is tartalmaz. Az állandó összetevő telíti a vasmagot, a telítődés pedig megbontja a transzformátor üzemét, megnöveli a mágnesezőáramot és felharmonikusokat hoz létre.

A transzformátortekercsek azonban úgy is összekapcsolhatók, hogy az állandó és változó összetevők teljesen kiegyenlítődjenek. Ilyen kapcsolás látható a 23*b* ábrán. Könnyen belátható, hogy a transzformátor primer tekercse (I) különböző oszlopokon elhelyezett, párhuzamosan kapcsolt két részből áll (1 és 2). A szekunder tekercs (II) zegzugkapcsolású. A pozitív félperiódusban (zöld nyilak) a szekunder tekercs fele működik. A jobb oldali oszlopon levő 4. rész (szekunder tekercs) és 2. rész (primer tekercs) kölcsönhatásban van a bal oldali oszlopon levő 1. és 5. részekkel. A negatív félperiódusban (sárga nyilak) a szekunder tekercs másik fele működik: a bal oldali oszlopon levő 1. és 3. részek és a jobb oldali 2. és 6. részek kölcsönhatása megegyező.

Háromfázisú transzformátor zegzug–csillag kapcsolása

A transzformátorok primer tekercseit csillagba, szekunder tekercseit pedig zegzugba kapcsolják (24*a* ábra). Ehhez minden fázis szekunder tekercsét két félből állítják össze: az egyik felet az egyik oszlopon, a másikat a másik oszlopon helyezik el. Az x_1 véget az y_2 véggel (nem pedig a kezdettel!) kapcsolják össze stb. Az a_2, b_2 és c_2 kezdőpontokat összekötik és ezek csillagpontot képeznek. Az a_1, b_1, c_1 kezdetekhez kötik a szekunder hálózat vonalvezetőit. Ilyen kapcsolás esetén a különböző oszlopokon elhelyezett tekercsek feszültségei 120°-kal térnek el egymástól; a szekunder tekercs feszültségeinek vektordiagramját a 24*b* ábra szemlélteti.

A vektordiagram a következőképpen szerkeszthető meg. Tételezzük fel, hogy az x_1, y_1, c_1 végek össze vannak kapcsolva. Az így nyert diagram a 24*c* ábrán látható. Most tételezzük fel, hogy összekapcsolva az a_2, b_2, c_2 kezdetek vannak. Ez megfelel a 24*d* ábrán levő



24. ábra. Háromfázisú transzformátor zegzug–csillag kapcsolása
Az a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2 betűkkel a szekunder tekercsek kezdeteit jelölik, az x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2 betűkkel pedig azok végeit.
Az u'_1, u'_2, u'_3, u''_1, u''_2, u''_3 a szekunder tekercsek,
az U_1, U_2, U_3 vonalfeszültségek

diagramnak, amely a 24*c* ábrán levő diagramhoz képest 180°-kal van elfordítva. Végül a 24*a* ábrán látható kapcsolási vázlatnak megfelelően elvégezzük a 24*c* és *d* ábrákon ábrázolt vektorok mértani összeadását.

A zegzug–csillag kapcsolás – mint az előzőkben is lerögzítettük – drágább a csillagkapcsolásnál, ugyanis több menetre van szükség. Valóban, az egy oszlopon elhelyezkedő két féltekercs soros kapcsolásakor, a féltekercsek feszültségei algebrailag összeadódnak, azaz az adott esetben megkétszereződnek. A különböző oszlopokon elhelyezett tekercsek összekapcsolásakor a feszültségek mértanilag 120°-os szög alatt összegződnek és $\sqrt{3}$-szor nagyobb feszültséget adnak eredményül. Következésképpen, hogy ugyanolyan értékű feszültséget kapjunk zegzug–csillag kapcsoláskor, mint csillagkapcsolás esetén, 15%-kal több menetre van szükség, ugyanis 2 : 1,73 = 1,15.

Zegzug–csillag kapcsoláskor három feszültséget nyerhetünk, például 400, 230 és 133 V-ot. Ezek üresjárási értékek. Terhelés esetén a fogyasztóknál a feszültségek kisebbek lesznek, közelítve a 380, 220 és 127 V-os névleges hálózati feszültségekhez.

Transzformátorok kapcsolási csoportjai

A transzformátorok többségét párhuzamosan üzemeltetik; a párhuzamos kapcsolás elengedhetetlen feltételei:

– *A transzformátorok áttételének azonossága.* Ellenkező esetben a szekunder tekercsek között kiegyenlítő áram fog folyni, amely még viszonylag kis áttételi eltérés esetén is veszélyes túlmelegedést idézhet elő;

– *A rövidzárási feszültség* ε (%) *azonossága.* Ez a feltétel azért fontos, mert máskülönben nem oszthatják meg a terhelést az összekapcsolt transzformátorok teljesítményeik arányában. Ugyanis a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok teljesítményviszonya nem lehet több, mint 1 : 3. Ellenkező esetben még a viszonylag nem nagy abszolút túlterhelés is – százalékosan – a kistranszformátorok számára megengedhetetlen lehet. Más szóval ez azt jelenti, hogy ebben az esetben (azaz, ha rövidzárási feszültségeik %-os értéke megegyezik) a párhuzamosan üzemeltetett transzformátorok között, névleges teljesítményeik arányában oszlik meg a terhelés.

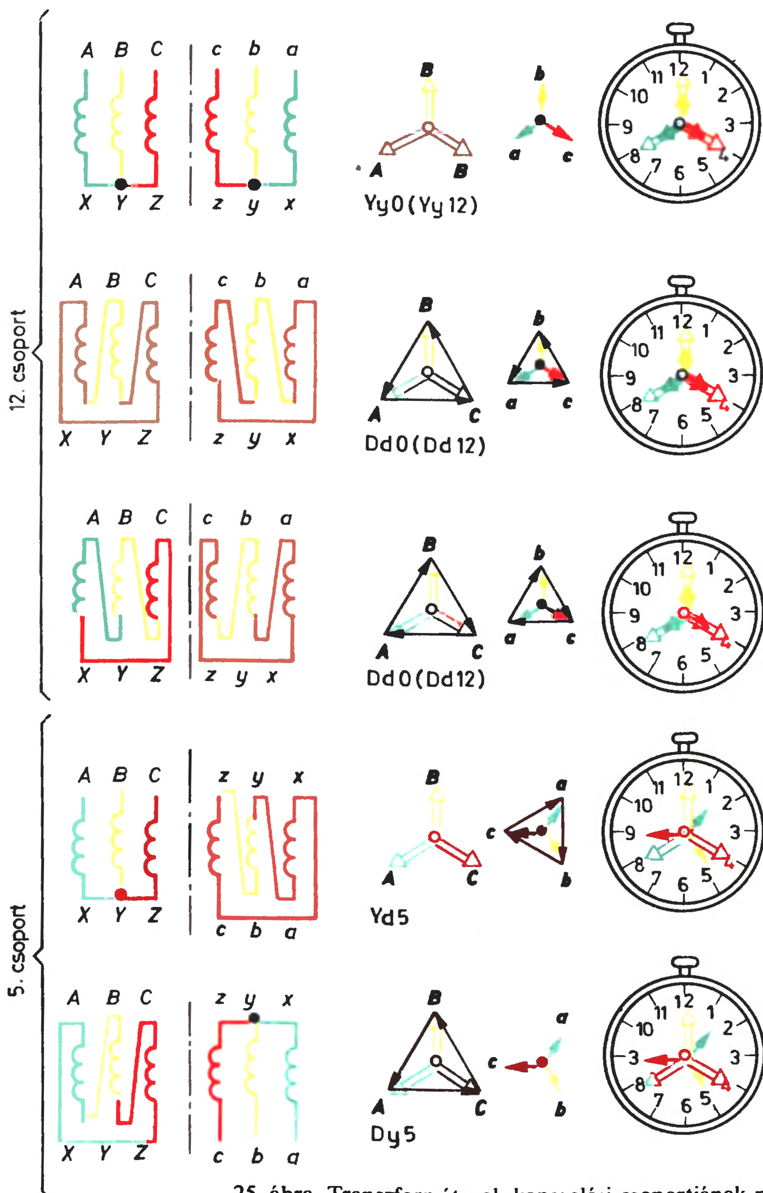
– *A fázisforgatás azonossága.* Ha a transzformátorok fázisforgató hatásai különbözők, akkor a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok szekunder feszültségeinek megfelelő vektorai között fáziseltolódás képződik, ami feszültségkülönbséget eredményez. Mivel egy és ugyanazon pontban egyidejűleg nem létezhetnek különböző feszültségek, kiegyenlítésükre a transzformátorok között kiegyenlítőáram lép fel. Még a legkisebb (30°-os) szögeltérés esetén is (különböző kapcsolási csoportoknál) a kiegyenlítő áram ötször, a legnagyobb szögeltérés (180°) esetén pedig 20-szor nagyobb a transzformátor névleges áramánál.

A 25. ábra tíz transzformátort ábrázol. A transzformátorok tekercseinek kapcsolása különböző. Egyelőre hagyjuk figyelmen kívül, hogy miben is van a különbség, fordítsunk figyelmet a vázlatok mellett elhelyezett vektorábrákra: balról a primer tekercs feszültségeinek, középen a szekunder tekercs, jobbról a két tekercs feszültségeinek összevont vektorábrája látható egy óra számlapján levő óramutatók formájában. A vektorok „súlypontjai" az óralapok középpontjában helyezkednek el. Az órák percmutatója megegyezik a primer tekercs egyik feszültségvektorának irányával (a 25. ábrán **B** vektor). Az óramutató (kismutató) megegyezik az azonos megnevezésű fázis szekunder tekercsének feszültségvektorával, azaz a **b** vektorral.

Az adott esetben a primer és szekunder csillagkapcsolás vektorainak elhelyezkedését hasonlítjuk össze. Ezért, ha a tekercset háromszögbe kapcsolják, a kapcsolási csoport meghatározása előtt a háromszögbe egy csillagot kell képzelni. Ezt követően a csillag alapúlvételével a nyilakat a csillagok vektorai mentén a *B* és *b* (*A* és *a*, *C* és *c*) csúcsokba irányítjuk.

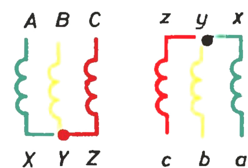
A 25. ábrán jól látható, hogy bár a tekercsek belső összekötési módjai (*kapcsolási mód*) eltérőek, az azonos jellegű feszültségek vektorszögei azonos értékűek, amit az azonos időpontot mutató óraállások is bizonyítanak. A szekunder feszültségvektorok azonos eltolódását eredményező tekercskötések képezik az egyes *kapcsolási csoportokat*. Más szóval, az azonos kapcsolási csoportba tartozó transzformátorok azonos jelű szekunder feszültségei fázisban egybeesnek, ezért azok párhuzamosan összekapcsolhatók kiegyenlítőáram keletkezésének veszélye nélkül.

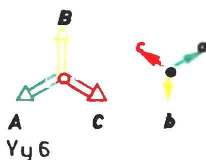
Tizenkét alapcsoport lehet (1 óra, 2 óra...12 óra) a számlapon elhelyezkedő órajelöléseknek megfelelően. Ez azzal magyarázható, hogy a primer és szekunder feszültségek vektorai a tekercsek kapcso-

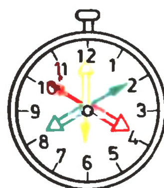


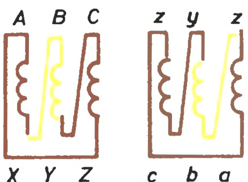
25. ábra. Transzformátorok kapcsolási csoportjának példái
A primer tekercsek kezdeteit *A*, *B*, *C*, végeit *X*, *Y*, *Z* betűkkel,

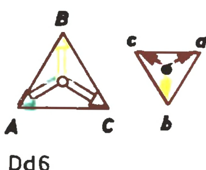
6. csoport

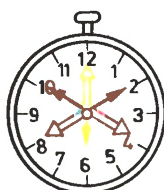


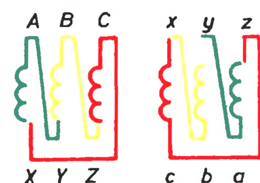


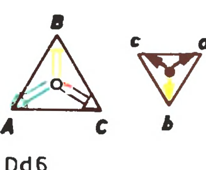


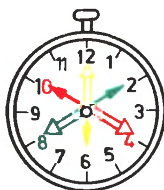




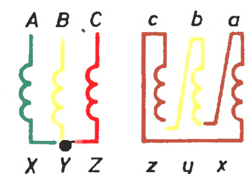


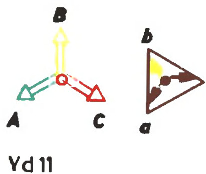


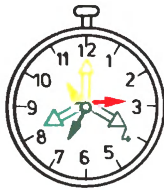


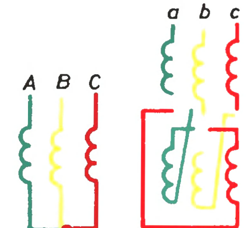


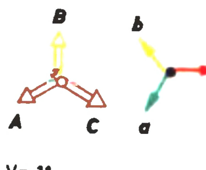
11. csoport

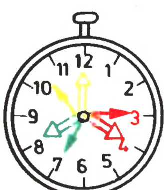












a szekunder tekercsek kezdeteit *a*, *b*, *c*, végeit *x*, *y*, *z* betűkkel jelölik

lásának és az egyes oszlopokon történő elhelyezkedésének függvényében a 30°-os szög többszöröseit kitevő eltérésűek lehetnek. Így tehát az 1 órának a 30°-os, a 2 órának a 60°-os, a 4 órának a 120°-os stb. szögeltérés felel meg. 360°-os eltérése vagy 0°-os eltérése a 12, ill. a 0 órának megfelelő csoportnak van (ugyanis a 360° és a 0° azonos értéket jelent). A 6 órának megfelelő eltérés esetén a primer és szekunder tekercsek azonos fázisainak feszültségvektorai egymással éppen ellentétes irányúak (az általuk bezárt szög 180°).

Páros csoportokról (2, 4, 6, 8, 10) akkor beszélünk, ha mindkét nagyobb feszültségű tekercs és a kisebb feszültségű tekercs azonos kapcsolású, azaz mindkettő vagy csillagba (Yy), vagy háromszögbe (Dd) van kapcsolva. Az egyik tekercs zegzug–csillag kapcsolása és a másik tekercs háromszögkapcsolása (Dz) is páros csoportot ad (Yy, Dd, Dz).

Páratlan csoportok (1, 3, 5, 7, 9, 11) akkor jönnek létre, ha az egyik tekercs kapcsolása csillag, a másiké háromszög (Yd vagy Dy), valamint akkor, ha az egyik tekercs csillagba, a másik pedig zegzugba van kapcsolva (Yz).

A gyakorlatban a háromfázisú transzformátorok nagyobb és kisebb feszültségű oldalán mérhető vonali feszültségek szöge Yy, Dd és Dz kapcsolásban, 0°, vagy a 30° páros számú többszöröse: 2-, 4-, 6-, 8- és 10-szerese, Yd, Dy és Yz kapcsolásban 30°, vagy ennek páratlan számú többszöröse: 1-, 3-, 5-, 7-, 9- és 11-szerese; ezért az Yy, a Dd és a Dz kapcsolás 0, 2, 4, 6, 8 és 10 jelölőszámú, az Yd, a Dy és az Yz kapcsolás 1, 3, 5, 7, 9 vagy 11 jelölőszámú lehet.

A *kapcsolási mód jelölésében* betűkkel jelölik a tekercs kapcsolását, számokkal pedig a szögeltérésre utaló értékeket (pl. Yd5).

Hazánkban általában az Yd5, Yd11, a Dy5, Dy11, az Yy0, Yy6, Dd0, Yz5 és Yz11 kapcsolási csoportú transzformátorokat gyártják.

A gyakorlatban azonban találkozhatunk mind a 12 csoporttal, sőt még olyan kapcsolásokkal is, amikor a nagyobb és a kisebb feszültségű vektorok forgási iránya nem azonos. Az ilyen transzformátoroknak nincs csoportjuk az órajelölésben.

A kapcsolási csoportok megváltoztatása

A páratlan jelölőszámú Yd, Dy és Yz kapcsolási csoportot bármilyen más páratlan jelölőszámúvá átalakíthatjuk a külső vezetékcsatlakozások felcserélésével (2. táblázat).

2. táblázat. **A kapcsolási csoport megváltoztatása a külső vezetékcsatlakozások felcserélésével**

A transzformátorkapcsok és vezetékcsatlakozások jelölése		Az Yd, Dy és Yz kapcsolási csoport jelzőszáma					
A B C *U V W*	*a b c* *u v w*	1	3	5	7	9	11
A C B *C B A* *B A C*	*c b a* *b a c* *a c b*	3	1	11	9	7	5
A B C *C A B* *B C A*	*c a b* *b c a* *a b c*	5	7	9	11	1	3
A C B *C B A* *B A C*	*b a c* *a c b* *c b a*	7	5	3	1	11	9
A B C *C A B* *B C A*	*b c a* *a b c* *c a b*	9	11	1	3	5	7
A C B *C B A* *B A C*	*a c b* *c b a* *b a c*	11	9	7	5	3	1

A páros jelölőszámú Yy, Dd és Yz kapcsolási csoportban a külső vezetékcsatlakozások felcserélésével, ill. ha valamelyik oldalon minden tekercsvég ki van vezetve, akkor a tekercsvégek felcserélésével bármilyen páros jelölőszámú kapcsolási csoport megvalósítható (3. táblázat).

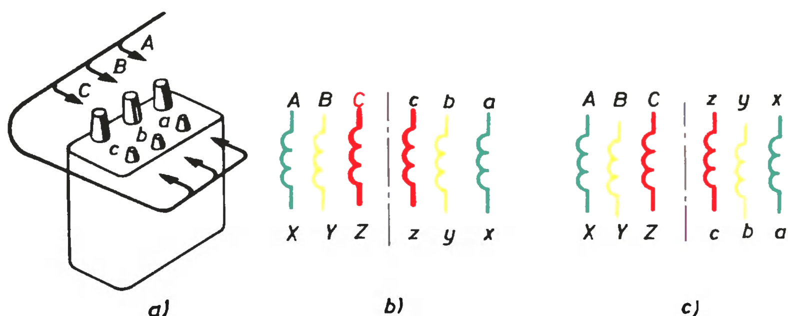
3. táblázat. **A kapcsolási csoport megváltoztatása a tekercsvégek és a vezetékcsatlakozások felcserélésével**

A transzformátorkapcsok és vezetékcsatlakozások* jelölése			Az Yy, Dd és Dz kapcsolási csoport jelölőszáma					
U V W *A B C*	*u v w* *a b c*	*x y z*	0	2	4	6	8	10
A B C *C A B* *B C A*		*b c a* *a b c* *c a b*	2	4	6	8	10	0
A B C *C A B* *B C A*	*c a b* *b c a* *a b c*		4	6	8	10	0	2
A B C *C A B* *B C A*		*a b c* *c a b* *b c a*	6	8	10	0	2	4
A B C *C A B* *B C A*	*b c a* *a b c* *c a b*		8	10	0	2	4	6
A B C *C A B* *B C A*		*c a b* *b c a* *a b c*	10	0	2	4	6	8

Vektorábra szerkesztése a kapcsolási mód meghatározásához

A kapcsolási rajzokon a tekercseket a transzformátorkimenethez kapcsolódásuk sorrendjében tüntetik fel. Ha tehát a számlálást a nagyobb feszültségű tekercs *A* kimenetén kezdjük és a transzformátort körbejárjuk a nyíl irányában (26*a* ábra), a kivezetéseket a következő sorrendben találjuk: *A*, *B*, *C*, *c*, *b*, *a*. Pontosan így helyezik el ezeket a kapcsolási rajzokon is.

A nagyobb feszültségű tekercsek kezdetét *A*, *B*, *C* betűkkel, végeit *X*, *Y*, *Z* betűkkel, a kisebb feszültségű tekercsek kezdeteit *a*, *b*, *c*, vé-



26. ábra. Tekercsjelölési rendszer a kapcsolási csoportok meghatározásához

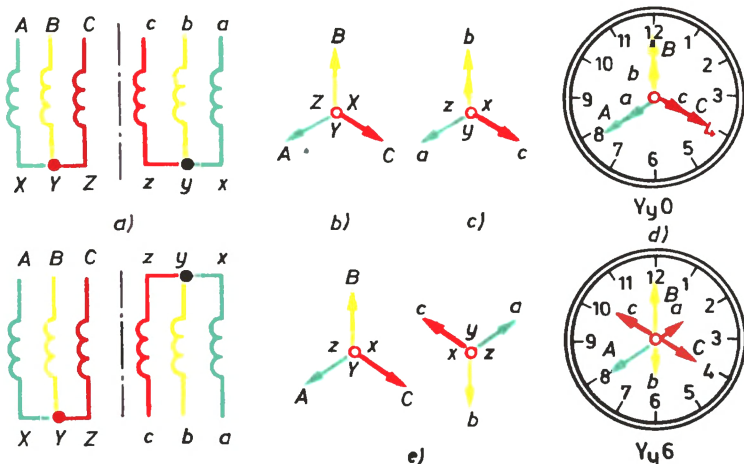
geit *x*, *y*, *z* betűkkel jelölik. Állapodjunk meg, hogy az azonosan gombolyított tekercsek kezdeteit fent, végeit lent helyezzük el (26*b* ábra). A különböző tekercselési irányú tekercsek kezdeteit különböző oldalakon fogjuk elhelyezni (41*c* ábra).

Az azonos fázishoz tartozó (azaz a tekercsek egy oszlopon vannak) feszültségvektorok párhuzamosak. A vektordiagramokat annak az időpillanatnak a figyelembevételével készítik, amikor az *A*, *a* (*B*, *b*; *C*, *c*) potenciálok nagyobbak, mint az *X*, *x* (*Y*, *y*; *Z*, *z*) potenciálok.

A primer tekercs fázisainak megnevezéseit és azok feszültségvektorainak elhelyezkedését a primer hálózat határozza meg, ezért ezek minden kapcsolásra nézve egyformák.

Nézzünk néhány példát!

1. példa. Meg kell határozni a 27*a* ábrán látható elrendezés kapcsolási módját! Első lépés: megszerkesztjük a nagyobb feszültségű tekercs vektorábráját (27*b* ábra). Második lépés: megszerkesztjük a kisebb feszültségű tekercs vektorábráját (42*c* ábra). Az előzőkben közölt feltételek alapján, az *AX*, *BY*, *CZ* és *ax*, *by*, *cz* vektorok értelemszerűen párhuzamosak és azonos irányúak, mivel a tekercsek feszültségeinek is azonos az iránya (a tekercskezdetek jelölése a 27*a* ábra felső részén látható). Harmadik lépés: a nagyobb feszültségű tekercs vektorábrájának súlypontját az óra középpontjába helyezzük, és az egyik fázis, pl. a *BY* fázisvektort 12 órára forgatjuk. Negyedik lépés: a kisebb feszültségű tekercs vektorábrájának súlypontját az óra középpontjába helyezzük, és megnézzük, hogy ugyanazon fázis, esetünkben a *by* fázisvektor, hány órát mutat. Ez az óra határozza meg a kapcsolási módot, az adott példában 0 vagy 12 (27*d* ábra).



27. ábra. Kapcsolási csoportok meghatározási példái, ha mindkét tekercs csillagkapcsolású

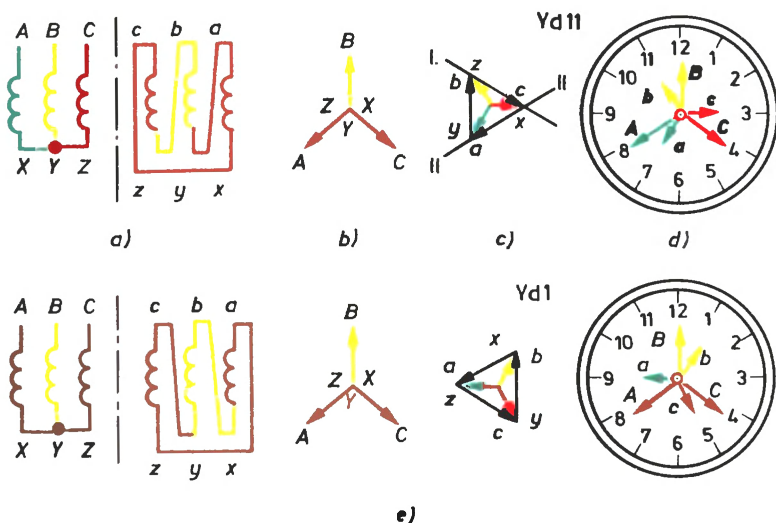
2. példa. A 27*e* ábra szerint a tekercsek gombolyítási iránya különböző. A kapcsolási csoport az előző példához hasonlóan határozható meg. Magyarázat nélkül is belátható, hogy Yy6 kapcsolási csoportot kapunk.

3. példa. Szerkesszük meg a vektorábrát a 28*a* ábra szerint arra az esetre, amikor a gombolyítás iránya azonos és a kisebb feszültségű tekercs háromszögkapcsolású! A nagyobb feszültségű tekercs vektorábrája (28*b* ábra) megegyezik a 27*b* ábrán láthatóval. Ez természetes, hiszen ezt is a primer hálózat határozza meg. A *BY* vektorral párhuzamosan – vele megegyező iránnyal – megszerkesztjük a *by* vektort (27*c* ábra). Ezt követően, mivel a kapcsolás szerint a *b* kimenet össze van kapcsolva a *z* kimenettel, a vektorábrán a *b* betű mellé tesszük a *z* betűt. Mivel azonban a *z* pont a *cz* vektorhoz tartozik, a *z* ponton keresztül a *CZ* vektorral párhuzamos *I–I* vonalat húzunk. Ezt követően, tekintettel arra, hogy az *y* kivezetés össze van kötve az *a* kivezetéssel, a vektorábrán az *y* betű mellé tesszük az *a* betűt és ezen keresztül meghúzzuk az *AX* vektorral párhuzamos *II–II* vonalat. Az *I–I* és *II–II* vonalak metszéspontja képezi a *c* és *x* kivezetések közötti kapcsolásnak megfelelő háromszögcsúcsot. Most már csak a *cz* és *ax* vektorok irányait kell jelölni.

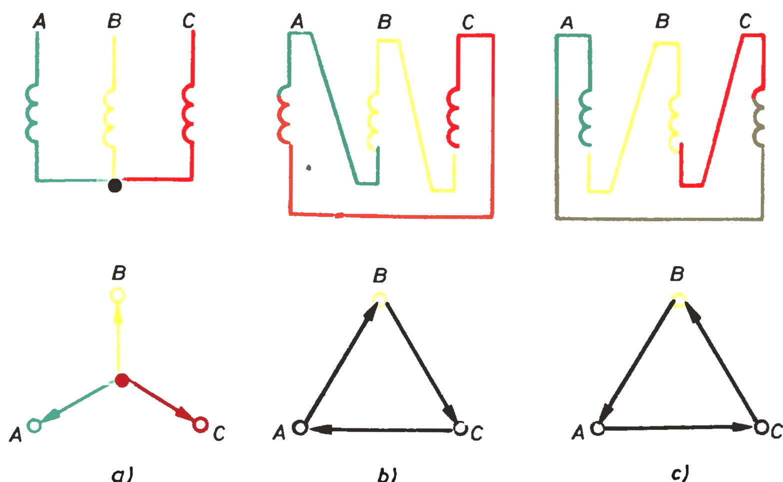
Most pedig össze kell hozni a nagyobb és a kisebb feszültségű tekercsek vektorábráinak súlypontjait úgy, hogy behelyezzük azokat az órák központjába, és meg kell határozni a kapcsolási csoportot. Adott esetben a transzformátor a 11-es kapcsolási módhoz tartozik, ugyanis a **b** vektor 11 órát mutat. Esetünkben a kapcsolási módot nem az **a** és **c** vektorok, hanem a **b** vektor határozza meg, mivel a 12 órára nem az **A** és **C** vektorok, hanem a **B** vektor irányul.

A súlypont meghatározása némi magyarázatot igényel. A csillagkapcsolású, nagyobb feszültségű tekercs súlypontja a csillagpont. A háromszögbe kapcsolt, kisebb feszültségű tekercs súlypontja szerkesztéssel határozható meg: a háromszög minden oldalát megfelezik, és az oldalak felezőpontját összekötik a szemben levő csúccsal. A három vonal metszéspontja adja a súlypontot.

A 28*e* ábrán levő tekercsek is azonos gombolyításúak és szintén csillag-, ill. háromszögkapcsolásúak, de nem 11-es csoportot, hanem 1-es csoportot nyertünk. Ez azzal magyarázható, hogy a kisebb feszültségű tekercsek kapcsolásakor ez alkalommal másként járunk el, mint a 28*a* ábrán. Az első esetben a *by* tekercs végét összekapcsoltuk az *ax* tekercs kezdetével, a másodikban a *by* tekercs végét a *cz* te-



28. ábra. Kapcsolási csoportok meghatározási példái,
ha a kisebb feszültségű tekercsek háromszögkapcsolásúak



29. ábra. Feszültségvektorok nagyobb feszültségű tekercsek háromszögkapcsolásakor

kercs kezdetével. A másfajta körüljárási irány eredményeként a háromszög megfordult.

A kisebb feszültségű tekercsek háromszögkapcsolásakor a nagyobb feszültségű tekercs vektorait vettük figyelembe, mivel ezek ábrázolták a táphálózat feszültségeit. Más szóval az **A**, **B**, **C** vektorháromszög csúcsai voltak adottak.

A nagyobb feszültségű tekercsek háromszögkapcsolásakor ezeket a feltételeket ugyancsak be kell tartani, innen következik, hogy a nagyobb feszültségű tekercsek bármilyen, tehát akár csillag- (29*a* ábra), akár háromszög- (29*b*, *c* ábrák) kapcsolásakor a vektorábrákon az *A*, *B*, *C* pontok egyformán helyezkednek el, mivel ez a hálózat. Háromszögkapcsolásban azonban a vektorok iránya különböző lehet, ezt a kapcsolási sorrend határozza meg.

Valóban, a 29*b* ábrán látható, hogy a *B* tekercs a *C* tekercshez, az pedig az *A* tekercshez kapcsolódik, aminek a vektorábrán a nyílirányok is megfelelnek.

A 29*c* ábrán a kapcsolást más sorrendben alakították ki: a *B* tekercstől az *A* tekercshez és onnan a *C* tekercshez, ezért a vektorábrán a nyilak iránya ellenkezőjére fordult.

4. A TEKERCSKIVEZETÉSEK MEGHATÁROZÁSA

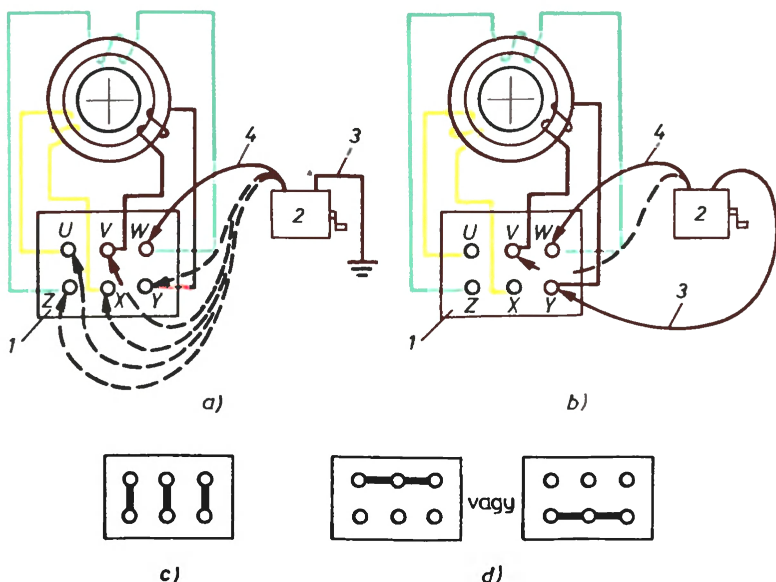
Mielőtt létrehoznánk csillag-, háromszög- vagy zegzugkapcsolást, mindig két feladatot kell megoldani: egyrészt meg kell határozni, hogy milyen kivezetések tartoznak az egyes tekercsekhez; másrészt meg kell határozni, hogy melyek közülük a tekercsek kezdetei és végei.

Motortekercsek hovatartozásának meghatározása

A 30*a* ábrán egy háromfázisú villamos motor tekercseinek, az *1* kapocstáblára kivezetett végeit ábrázoltuk. A kapocstábláról hiányozhatnak a kapocsjelek, pl. *U*, *V*, *W*, ill. *X*, *Y*, *Z* betűk, de ha vannak is feliratok, akkor is hasznos meggyőződni helyességükről.

Először ellenőrizni kell valamennyi kivezetés szigetelését a földhöz képest (30*a* ábra) egy szigetelésvizsgáló (megohmmérő) készülékkel, amelyet meggernek is neveznek (*2*). A megohmmérő egyik vezetőjét (*3*) földelik, a másikat (*4*) egymás után hozzákapcsolják a kapocstábla hat kapcsának mindegyikéhez és a megohmmérő karjának forgatásával meggyőződnek a szigetelés épségéről.

Ezt követően a *3* vezetőt a kapocstábla egyik kivezetéséhez, pl. az *Y*-hoz (30*b* ábra) kötik, és a megohmmérő karját forgatva egymás után hozzáérintik a *4* vezetőt a többi öt kivezetéshez. Példánkban a megohmmérő az *U*, *W*, *X* és *Z* kapcsokon „szigetelést" mutat és csak egy esetben, nevezetesen a *V* kapocs érintésekor jelez „zárlatot". Innen következik, hogy az *Y* és *V* kapcsok azonos tekercshez tartoznak. Így kell ellenőrizni valamennyi kivezetést a többihez képest, és



30. ábra. Háromfázisú motor tekercskivezetéseinek meghatározása

ezzel végeredményben meghatározható a megfelelő tekercsekhez tartozó három kapocspár.

Ha a tekercsek kezdeteit és végeit függőleges áthidalásokkal kötik össze (30*c* ábra), háromszögkapcsolás keletkezik. Vízszintesen elhelyezett áthidalások esetén (30*d* ábra), a villamos motor csillagba van kapcsolva.

Ha a tekercsek ellenállása kicsi, az ellenőrzés telepről vagy hálózatról működtetett lámpával, csengővel stb. is elvégezhető. A vizsgálat során figyelemmel kell lenni a következőkre:

a) a villamos gépek tekercseinek induktivitása nagy, ezért a tekercsek lekapcsolásakor még szárazelemről végrehajtott vizsgálat esetén is jelentős feszültségimpulzusok léphetnek fel;

b) a tekercseknek közös vasmagjuk van, azaz egyetlen sajátos transzformátort alkotnak, tehát egyik tekercsen végzett mérés esetén nincs kizárva a feszültség megjelenése a többi tekercskivezetésen. Egyenárammal történő vizsgálatkor ez a be- és kikapcsoláskor fellépő impulzus formájában jelenik meg, váltakozóárammal történő

vizsgálat során pedig váltakozófeszültség fellépésével kell számolni. A kapcsok érintésekor a vezetéket szigetelésénél fogva kell tartani!

Transzformátorkivezetések meghatározása

A transzformátortekercs-kivezetések hovatartozása megohmmérő vagy más, egyenáramú áramforrás segítségével határozható meg. Váltakozóáramot e célra veszélyes használni, mivel a transzformátorok primer és szekunder tekercsei különböző menetszámúak, s a vizsgálat folyamán a transzformátorkivezetéseken (kapcsokon) veszélyes feszültségek keletkezhetnek. Vegyük pl. azt, hogy egy 6600/220 V-os transzformátort vizsgálunk, amelynek áttétele 30 (6600 : 220 = 30). Tételezzük fel, hogy a szekunder tekercsre lámpán keresztül 40 V-ot vezetünk. A primer tekercs kivezetésein ilyenkor $40 \cdot 30 = 1200$ V keletkezik.

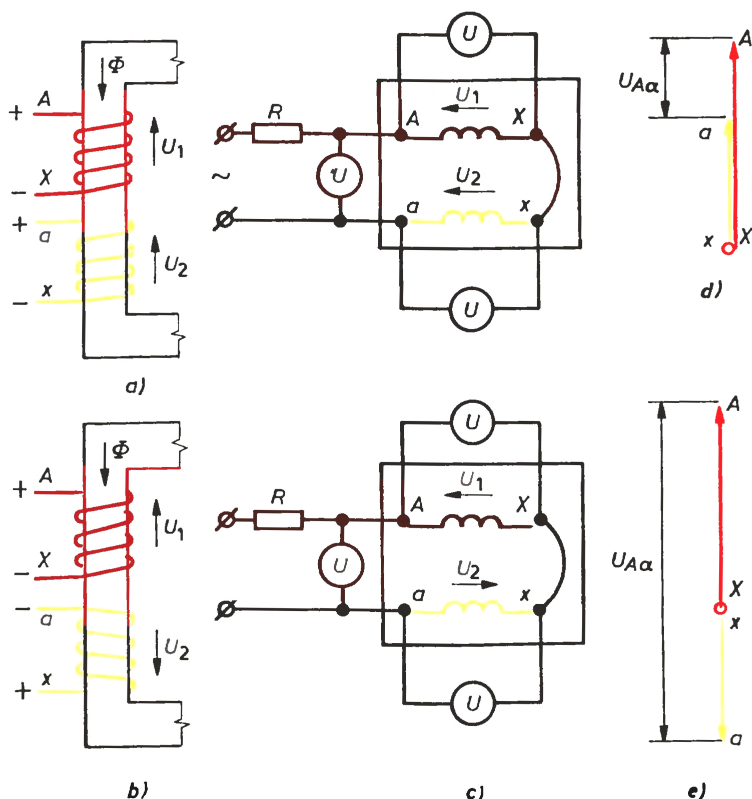
A tekercsek kezdetei és végei

A tekercsek két irányban gombolyíthatók: az óramutató járásával megegyezően, ill. ellentétesen. Hogy valójában miként vannak gombolyítva, az nem látható, de egy egyszerű próbával könnyen megállapítható a tekercs kezdete, ill. vége (31*a* ábra).

A Φ váltakozó mágneses fluxus a tekercsekben U_1 és U_2 feszültségeket indukál, amelynek nagysága arányos a menetek számával. Mivel a tekercsek iránya azonos, úgy tekinthető (és ez könnyen belátható), hogy az egyik tekercs mintegy folytatása a másiknak, és bennük a feszültségek iránya bármelyik pillanatban megegyezik. Ez azt jelenti, hogy azok felső kivezetései (*A* és *a*) vagy az alsó kivezetései (*X* és *x*) feszültségelőjele megegyező (pozitív vagy negatív), amit a 31*a* ábrán + és − jellel jelöltünk.

Világos, hogy különböző gombolyítási irányok esetén (31*b* ábra) az U_1 és U_2 feszültségek iránya ellentétes, azaz 180°-os szöggel tér el egymástól.

Ebből levonható egy gyakorlati következtetés. Ahhoz, hogy két tekercs egymáshoz viszonyított gombolyítási iránya meghatározható legyen, a tekercseket össze kell kötni egymással a 31*c* ábrán látható módon, s a szabad végeken keresztül váltakozófeszültségre kötni.



31. ábra. Egy oszlopon elhelyezett két tekercs gombolyítási irányainak meghatározása

A túl nagy áram elkerülésére a kapcsolás *R* kiegészítő ellenállást tartalmaz. Megmérik az *A* és *a* közötti U_{Aa} feszültséget, az egyik tekercs U_{AX} és a másik tekercs U_{ax} feszültségét, és a mért értékeket összehasonlítják.

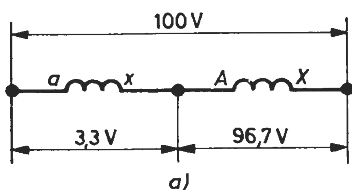
Ha az U_{Aa} egyenlő az U_{AX} és az U_{ax} különbségével, akkor a tekercsek gombolyítási iránya megegyezik, s a feszültségek a 31*d* ábrán látható vektordiagrammal ábrázolhatók, pl. ilyen értékek mellett: $U_{Aa}=40$ V, $U_{AX}=100$ V; $U_{ax}=60$ V.

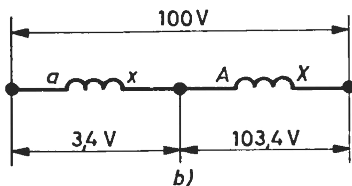
Ha az U_{Aa} egyenlő az U_{AX} és U_{ax} összegével, akkor a tekercselés iránya különböző, pl. $U_{AX}=100$ V; $U_{ax}=60$ V; $U_{Aa}=160$ V. A vektordiagram a 31*e* ábrán látható.

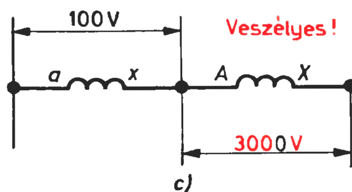
Ügyelni kell arra, hogy mindkét tekercs szabad végein legyen feszültség. (*A* és *a*, ha *X* és *x* össze van kapcsolva; *X* és *x*, ha *A* és *a* össze van kapcsolva; *A* és *X*, ha *a* és *x* össze van kapcsolva; *a* és *x*, ha *A* és *X* össze van kapcsolva stb.).

Megengedhetetlen csak az egyik tekercs feszültség alá helyezése, mert ha csak egy tekercsre kapcsolunk feszültséget, fennáll az a veszély, hogy a többi tekercsen nagy értékű feszültség keletkezik. Nézzük meg ezt egy példán! A 32. ábra a feszültségek megoszlását mutatja a transzformátorok tekercsirányainak meghatározásakor. A kisebb feszültségű tekercs 50 menetből, a nagyobb feszültségű 1500 menetből áll.

Ha 100 V feszültséget vezetünk az egy irányban gombolyított tekercsek szabad kivezetéseire (32*a* ábra), akkor a fellépő feszültségek hozzávetőlegesen 3,3; 96,7 és 100 V-tal egyenlők. Ha a gombolyítás







32. ábra. Biztonsági intézkedések a kapcsok kijelölésekor

ellentétes irányú, akkor a feszültségek hozzávetőlegesen 3,4; 103,4 és 100 V értékűek lesznek (32*b* ábra).

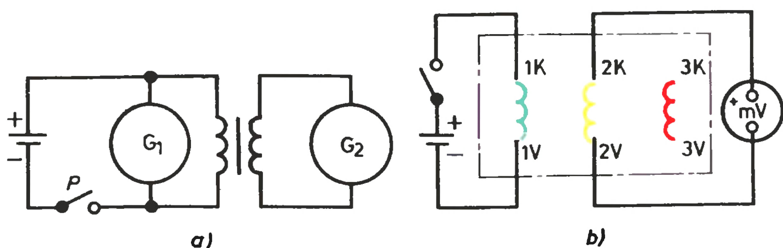
Ha viszont ugyancsak 100 V feszültséget vezetünk a kisebb feszültségű tekercshez (32*c* ábra), akkor a nagyobb feszültségű tekercs kimenetei között 3000 V-ot kapunk, ami már rendkívül veszélyes.

A 33*a* ábrán a gombolyítás egymáshoz viszonyított irányának egyenáramú módszerrel való meghatározására alkalmas kapcsolás látható. A nagyobb menetszámú tekercshez (biztonsági okokból) 2...12 V közötti feszültséget vezetnek telepről. A *P* megszakító bekapcsolásakor megfigyelik a *G1* és *G2* galvanométer kimozdulását. Ha a mutatók ugyanazon irányban mozdulnak ki, akkor a tekercsmenetek azonos irányúak. A különböző irányú kimozdulás az eltérő gombolyítási irányra utal.

A villamos motorok tekercskivezetéseinek meghatározására az egyenáramú módszer jól alkalmazható. Első lépésként meg kell határozni, hogy melyik kivezetés melyik tekercshez tartozik. Ezt követően az egyik tekercs kivezetéseit feltételesen *1K*-val (kezdet) és *1V*-vel (vég) jelölik és a *P* kapcsolóval a 2 V feszültséget áramforrással kapcsolják össze, mint azt a 33*b* ábra mutatja. A másik tekercs kivezetéseihez millivoltmérőt (mV) kapcsolnak.

Ha az *1K*-ra feltételezett kezdethez az áramforrás pozitív sarkát kapcsolják, és ha a millivoltmérő mutatója a kapcsoló kikapcsolásakor jobbra lendül ki, akkor az a tekercskivezetés, amelyhez a millivoltmérő „+" kapcsa van kapcsolva, a tekercs kezdete és ez *2K*-val jelölendő.

Ha az *1K*-ra feltételezett kezdetre az áramforrás pozitív sarka van kapcsolva, de a galvanométer mutatója a kapcsoló kikapcsolásakor balra lendül ki, akkor az a tekercskivezetés, amelyhez a millivolt-



33. ábra. A tekercselés gombolyítási irányának meghatározása egyenárammal

mérő „+” kapcsa van kapcsolva, a tekercs vége lesz és *2V*-vel jelölendő. Ez a 33*b* ábrán már nem látható.

A második tekercs *2K* kezdetének és *2V* végének meghatározását követően ugyanezzel a módszerrel határozzák meg a harmadik tekercs *3K* kezdetét és *3V* végét.

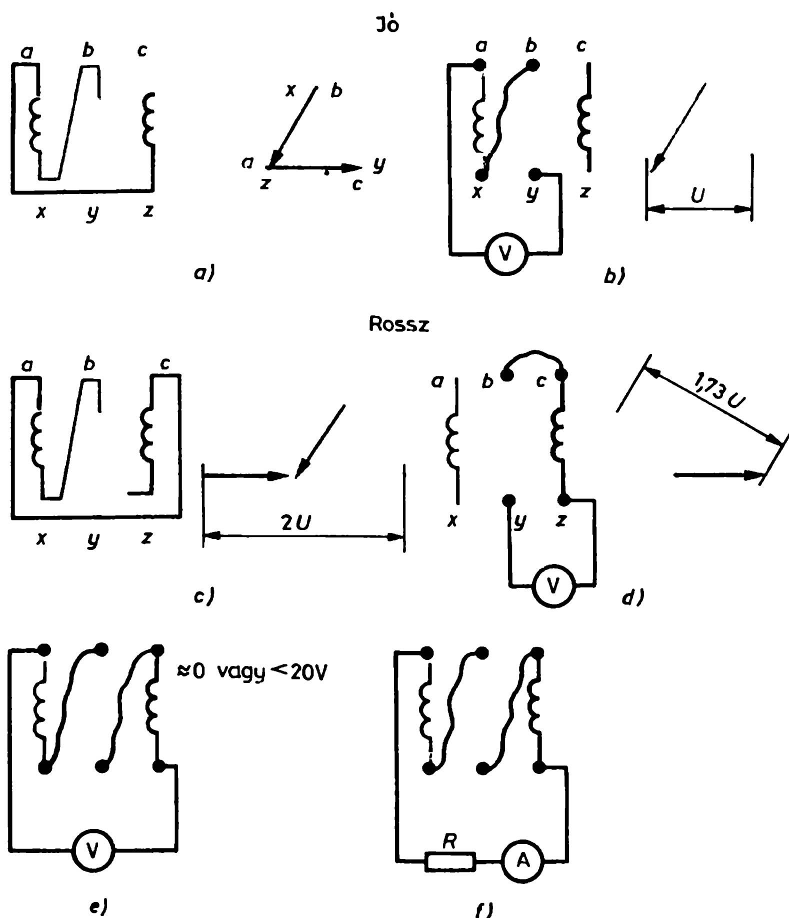
Kötési hibák

A kapcsolásokban elkövetett kötési hibák (elkötések) miatt háromszögkapcsolás helyett (34*a* ábra) más kapcsolást (34*c* ábra) kapnak. Ennek oka a tekercsek valamelyikének más gombolyítási iránya, vagy egyszerűbben a tekercskezdetek és -végek hibás megállapítása. Addig, amíg a háromszög nyitott, azaz míg az *y* és *z* pontok nincsenek összekapcsolva, közöttük kétszeres fázisfeszültség, 2*U* keletkezik. Ha ezeket a pontokat összekapcsoljuk, rövidzárlat keletkezik.

E hiba elkerülése érdekében a különböző tekercsek valamelyik két végét összekötik és megmérik a feszültséget a szabad végek között, megtéve a szükséges óvintézkedéseket, pl. a próbát egészen kis feszültséggel végzik. Ha a végeket helyesen választották ki, akkor a voltmérő az *U* fázisfeszültséget mutatja (34*b* ábra). Ha a feszültség 1,73-szor nagyobb a fázisfeszültségnél (1,73*U*) (34*d* ábra), akkor az egyik tekercs végét fel kell cserélni. Ezt követően a szabad végek egyikéhez hozzákötik a harmadik tekercs egyik végét és újból lemérik a szabad végek közötti feszültséget (34*e* ábra). A helyes érték nulla. Azonban, ha a harmadik tekercs „ki van fordítva” (34*c* ábra), a voltmérő kétszeres fázisfeszültséget (2*U*) mutat. Ilyenkor meg kell cserélni a harmadik tekercs végeit.

Megjegyezzük, hogy a harmadik harmonikusok jelenléte esetén a feszültségmérő más feszültséget (kisebbet, mint a kétszeres fázisfeszültség) is mutathat. Ebben az esetben a tekercsvégeket *R* ellenálláson és *A* ampermérőn keresztül kell összekötni (34*f* ábra). Ha a voltmérő által mutatott feszültség a harmadik harmonikusoktól származik, akkor az ampermérő mutatójának kilendülése jelentéktelen. Ez azzal magyarázható, hogy a háromszoros frekvenciájú áramokkal szemben a tekercsek nagy ellenállást képeznek. Ha fel vannak cserélve a tekercsvégek, az ampermérő jelentős kiegyenlítőáramot mutat.

Csillagkapcsolás esetén az egyik tekercs végeinek felcserélése csillag helyett (35*a* ábra) „legyezőt” („fenyőfát”) hoz létre. Erre példa

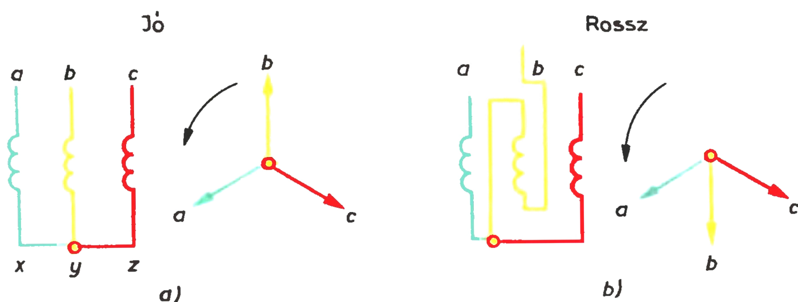


34. ábra. Háromszögkapcsolású transzformátortekercsek kötési hibái

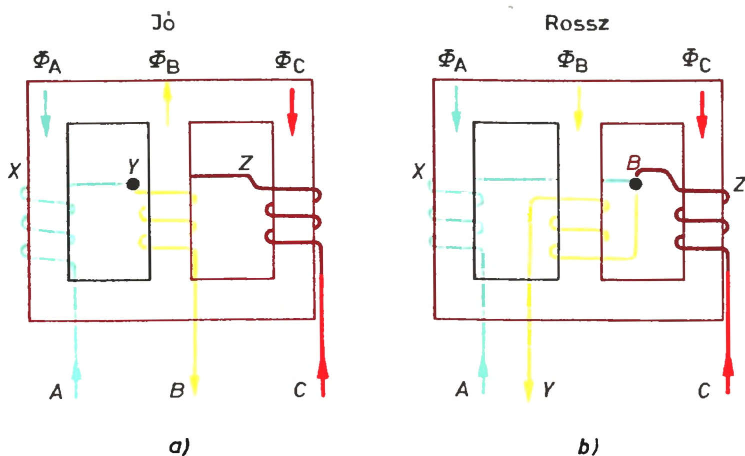
a 35*b* ábrán látható. Ilyenkor nincs rövidzárlat, de a névlegeshez közeli feszültség csak az *a* és *c* fázis között marad meg. Az *a* és *b*, a *b* és *c* fázisok közötti feszültség jelentősen csökken és hozzávetőlegesen a fázisfeszültséggel lesz egyenlő. A világítási hálózatokban az ilyen kapcsolás azt okozza, hogy az izzók nem kellő fénnyel világítanak.

Az ilyen hibás bekötés hatása jóval kedvezőtlenebb a villamos motorokat tápláló hálózatokon, nemcsak az indítónyomaték csök-

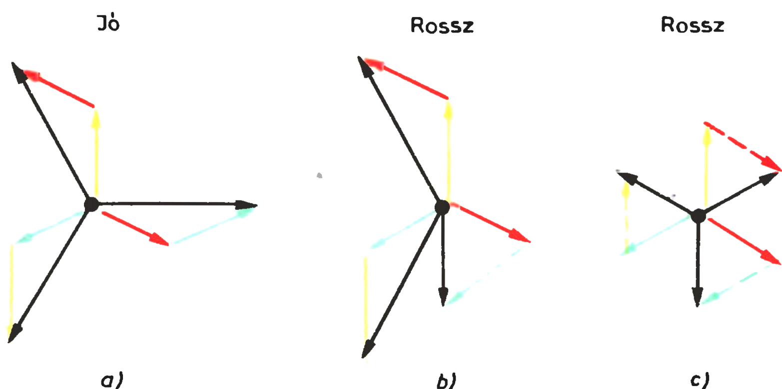
ken (ami a motorok leállásához és leégéséhez vezethet), de megváltozik a forgásirány is. Ennek az az oka, hogy ha a tekercsek helyes bekötésekor a forgó mágneses mező *a*, *b*, *c* irányú volt (l. a nyilakat a 35*a* ábrán), akkor „legyezőkapcsolás" esetén a mágneses mező is, és a villamos motor forgórésze is, ellenkező forgásirányú (azaz az *a*, *c*, *b* fázissorrendű), és a szimmetria megbomlása miatt jelentősen csökken a forgatónyomaték is.



35. ábra. Szekunder oldalon csillagkapcsolású transzformátorok tekercseinek kötési hibái



36. ábra. Háromfázisú oszlop típusú transzformátor primer tekercseinek helyes *(a)* és helytelen *(b)* csillagkapcsolása



37. ábra. Helyes *(a)* és helytelen *(b* és *c)* zegzugkapcsolás

A háromfázisú magtranszformátorokban fontos a primer tekercsek helyes bekötése, azaz olyan összekapcsolása, hogy minden időpillanatban az egyik oszlopban a fluxus felfelé, a másik kettőben lefelé irányuljon (36*a* ábra). Amennyiben az egyik fázist „kifordítják" (helytelenül határozzák meg kezdeteiket és végeiket, vagy a gombolyítás fordított irányú), akkor a Φ_A, Φ_B és Φ_C fluxusok minden oszlopban azonos irányúak lesznek (36*b* ábra). Más szóval, ha az egyik fázis fluxusa a többi fázis fluxusaival ellentétes irányú lesz, ezen oszlopok lemágnesezését fogja segíteni, ami a mágnesezőáram növekedéséhez vezet.

A csillagkapcsolásról elmondottak fokozottabban érvényesek a zegzug–csillag kapcsolásra, ugyanis jóval több kimenetet kell összekapcsolni. A tekercsek egyike kezdetének és végének helytelen meghatározásából eredő következményeket szemlélteti a 37*b* ábra szaggatott vonallal bejelölt része (összevetve a 37*a* ábra vektordiagramjával). A 37*c* ábra azt mutatja, hogy a három tekercs kezdeteinek és végeinek helytelen megállapítása miatt $\sqrt{3}$-szor kisebb a feszültség értéke a névlegesnél. Ezenkívül a vektorábra 90°-kal el is fordult.

5. HATFÁZISÚ CSILLAG- ÉS KETTŐS ZEGZUGKAPCSOLÁS

Annak ellenére, hogy a háromfázisú áramot széles körben alkalmazzák, a műszaki élet számos fontos területén nélkülözhetetlen az egyenáram. Ez vonatkozik pl. a fémkohászati üzemek elektrolízis-berendezéseire és a villamos vontatásra.

Még viszonylag nem is olyan régen az egyenáramot motorgenerátorokkal állították elő. Az egyenáram előállításának korszerű módja a váltakozóáram közvetlen egyenirányítása higanykatódos (ezeket mind ritkábban alkalmazzák) vagy félvezetős (szelén, germánium, szilícium) egyenirányítók segítségével.

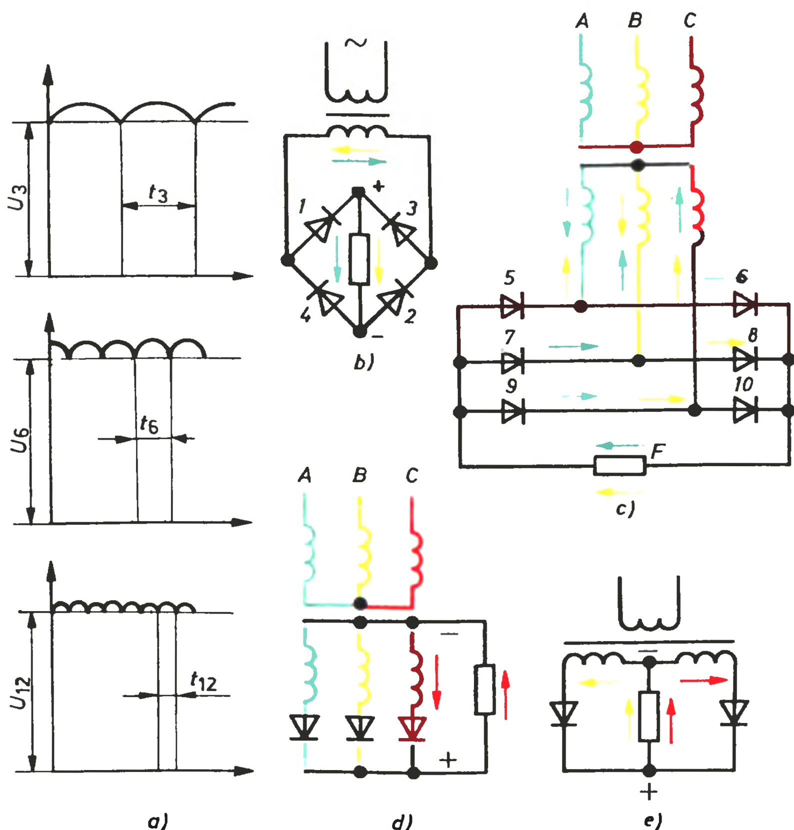
A motorgenerátorokról a közvetlen egyenirányításra való áttérésnek a konstrukciós különbségeken kívül (a forgógépet álló készülékekkel cserélték fel) fontos sajátossága van. Ez abban áll, hogy a motorgenerátoroknál a váltakozó- és egyenáram áramkörei villamosan szigeteltek egymástól, közvetlen egyenirányításnál pedig kapcsolatban vannak, mivel az egyenirányítót képező „szelepek" és a transzformátor szekunder tekercsei közvetlenül össze vannak kötve. Teljesen világos, hogy az egyenirányított áram nem szinuszos jellegű; ez az áram nemcsak váltakozó, hanem állandó összetevőt is tartalmaz, ami egyes egyenirányító-kapcsolásokban nagyon kedvezőtlen a transzformátor üzemére.

Egyenirányító rendszerek

A háromfázisú váltakozóáramot egyenárammá átalakító egyenirányító berendezéseket háromfázisú egyenirányítóknak nevezzük, füg-

getlenül a szekunder tekercs fázisszámától. A háromfázisú egyenirányítót tápláló transzformátor primer tekercsét csillagba, háromszögbe vagy zegzugba kapcsolják és háromfázisú hálózatról táplálják. A szekunder tekercs lehet három-, hat-, tizenkét fázisú, ami meghatározza az egyenirányítás rendszerét, amelyek három-, hat-, tizenkettő stb. ütemű rendszerek lehetnek.

A 38*a* ábrán felülről lefelé ábrázoltuk az egyenirányított feszültségek görbéit háromütemű (U_3), hatütemű (U_6) és tizenkét ütemű (U_{12}) egyenirányítás esetén. Ez az ábra csak a jelenség jellegét mutatja (nem a mennyiségi összefüggéseket), és a következőket szemlélteti:



38. ábra. Egyenirányítási rendszerek általános tulajdonságai

a) legkisebb, tehát a legkedvezőbb lüktetést (hullámosságot) a tizenkét ütemű egyenirányításnál kapjuk;

b) az anódáram tartama háromütemű egyenirányításnál a leghosszabb ($t_3 > t_6 > t_{12}$); ebből a szempontból a háromütemű egyenirányítás a jobb;

c) különböző egyenirányító-rendszereknél az egyenirányított feszültségek középértékei nem egyformák ($U_{12} > U_6 > U_3$).

Egyenirányítók kapcsolása

Bármelyik egyenirányítási rendszer többféleképpen alakítható ki. A legelterjedtebbek a hídkapcsolások (38*b* és *d* ábrák) és a középpont-kapcsolások (38*c* és *e* ábrák). Összehasonlítva a 38*b* és *e* ábrákat, valamint a 38*c* és *d* ábrákat, észrevehető, hogy az egyenirányító elemek (szelepek) száma a hídkapcsolásban és a középpont-kapcsolásban nem azonos. A bennünket érdeklő elvi különbség a híd- és a középpont-kapcsolás között az, hogy az elsőnél a transzformátor primer és szekunder tekercsein tiszta váltakozóáram halad át, ami kedvező.

A 38*b* ábrán világosan látható, hogy egy félperiódus alatt az áram a zöld nyilak irányában folyik az *1* és *2* egyenirányítókon keresztül. A másik félperiódusban az áram iránya a *3* és *4* egyenirányítón keresztül piros nyíllal van jelölve. A háromfázisú kapcsolásban a 38*c* ábrán az *A* fázis pozitív félperiódusában az áram a *6*, *7* és *9* egyenirányítókon keresztül halad át (zöld nyilak). Az *A* fázis negatív félperiódusában az áram irányát a sárga nyilak mutatják. Figyelmet érdemel a sárga és zöld nyilak ellentétes iránya a transzformátor szekunder tekercseiben. A többi fázisra is hasonló módon készíthető el a levezetés, ill. szerkesztés.

A középpont-kapcsolásokban a transzformátor szekunder tekercsein felváltva folyó áram egyenáramú előmágnesezést okoz. Ez kedvezőtlen, ugyanis erősen megnöveli az indukciót a transzformátor vasmagjában, egészen annak telítődéséig, ami megnöveli a mágnesezőáramot, megbontja a transzformátor mágneses egyensúlyát, és felharmonikusokat hoz létre. A háromfázisú kapcsolásokban a szekunder tekercselés helyes megválasztásával az előmágnesezés elkerülhető.

A transzformátor háromfázisú kapcsolásaira a következők jellemzők:

a) a primer tekercs háromszögkapcsolásakor és a szekunder tekercs csillagkapcsolásakor előmágnesezés lép fel;

b) a primer és szekunder tekercsek csillagkapcsolásakor szintén fellépő előmágnesezési fluxus egyirányú, de lüktető, ha a létrehozó áram időben változó;

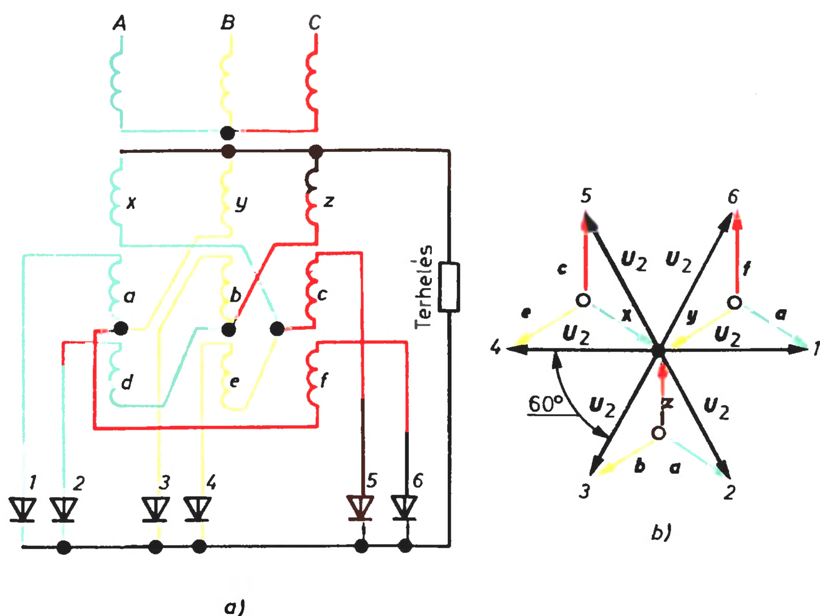
c) ha a szekunder vagy a primer tekercs zegzugkapcsolású, akkor az előmágnesezés elkerülhető (l. a 23. és 24. ábrákhoz fűzött magyarázatokat).

A primer tekercs csillagkapcsolásakor, a szekunder tekercs hatfázisú csillagkapcsolásakor a fluxus minden 1/6 periódusban változtatja irányát. A fluxus valamennyi oszlopban felfelé irányul (a levegőben pedig lefelé, ugyanis az egyirányú fluxusok nem tudnak a járomban záródni), és 1/6 periódusonként változtatja irányát, áthaladva minden oszlopon lefelé, a levegőben pedig felfelé. Az előmágnesezési fluxus a táphálózat frekvenciájának háromszorosa és ezt egyfázisú előmágnesezési fluxusnak nevezzük.

A hatütemű egyenirányítás a transzformátor szekunder tekercsének kettős zegzugkapcsolásakor azon alapszik, hogy zegzugkapcsoláskor előmágnesezési fluxus nem keletkezik. Az áram egyidejűleg a szekunder tekercs két különböző oszlopon elhelyezett, két tekercsrészén keresztülhalad. Ezek az áramok ellentétes gerjesztésűek. Ennek következtében a mágneses tér minden oszlopban kiegyenlített.

A transzformátor minden oszlopán megtalálható a primer tekercs *A* (*B*, *C*), és a különböző fázisokhoz tartozó szekunder tekercsek három tekercsrésze *x*, *a*, *d* (*y*, *b*, *e*; *z*, *c*, *f*). Az *x*, *y*, *z* tekercsek képezik a belső csillagot, amelynek kivezetése az egyenirányító negatív pólusa. A belső csillag szabad végeihez kapcsolják az *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* tekercsrészeket, amelyek kivezetései az *1*...*6* egyenirányítókat táplálják. Az egyenirányítók csatlakozásának közös pontja az egyenirányító pozitív pólusa.

A 39*a* ábrán levő kapcsoláshoz a szekunder tekercsek feszültségeinek vektordiagramja a 39*b* ábrán látható, amelyből kitűnik az *1*, *2*,..., *6* egyenirányítók működési sorrendje, a szekunder tekercs U_2 feszültségének értéke (a különböző fázisokhoz tartozó tekercsrészek feszültségeinek geometriai különbsége), továbbá, hogy minden egyenirányító működési időtartama 60°.



39. ábra. Hatfázisú egyenirányító csillag–kettős zegzugkapcsolású transzformátorral

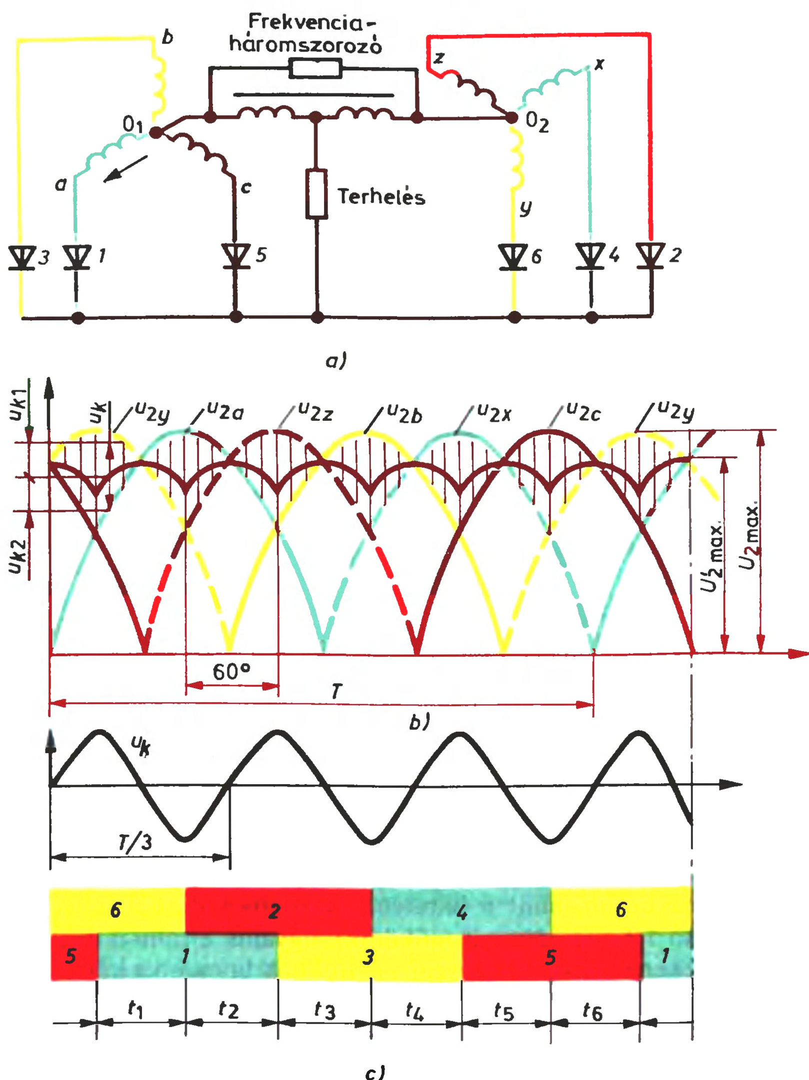
A szívó-fojtótekercses hatütemű egyenirányítós kapcsolás széles körben elterjedt, a következő pozitív tulajdonságai miatt:

1. Az egyenirányított feszültség lüktetése a hatütemű egyenirányításnak felel meg. Ez jóval kedvezőbb, mint a háromütemű egyenirányításnál, ugyanis a hullámossága kisebb, mint a 38*a* ábrán látható.

2. Az egyenirányítók működési időtartama 1/3 periódus. (Az itt megadott [1/3, 1/6 periódus stb.] értékek idealizált képnek felelnek meg.) Ez kedvezőbb, mint a hatütemű egyenirányításnál (ahol az egyenirányító 1/6 periódusnyit működik), ugyanis a transzformátor szekunder tekercseinek és az egyenirányítóknak így jobb a kihasználása.

3. A szívó-fojtótekercses hatütemű egyenirányítós kapcsolásban a transzformátor egyes szekunder tekercsein, valamint az egyenirányítókon mindössze 50%-a folyik annak az áramnak, ami a csillag-,

kettős zegzugkapcsolásban (39. ábra) tapasztalható. Ugyanis a szívófojtótekercses kialakítás esetén (40. ábra) egymással párhuzamosan két egyenirányító működik, s nem egy.



40. ábra. Hatfázisú egyenirányítás

4. Nem lép fel egyfázisú előmágnesezési áram, mivel az egyenirányított áram a különböző csoportokba tartozó szekunder tekercsek két fázisán folyik. Az ábrán látható, hogy az egyik tekercscsoport kezdetei, és a másik tekercscsoport végei vannak csillagba kapcsolva. Ezt az eredményezi, hogy az ugyanazon fázishoz tartozó szekunder tekercsekben folyó áramok ellenkező irányúak.

A transzformátor és az egyenirányítók kapcsolását a 40*a* ábra mutatja. A 40*a* ábrán nem látható primer tekercsek csillagba (háromszögbe) vannak kapcsolva. A hat szekunder tekercs – oszloponként párosával – két csoportot képez. Közülük az egyik csoportnál az O_1 csillagpontban kapcsolják össze a végeket, az *a*, *b* és *c* kezdeteket pedig kivezetik az *1*, *3* és *5* egyenirányítók csatlakoztatásához. A másik csoportban az O_2 csillagpontban kapcsolják össze a kezdeteket és az *x*, *y* és *z* végekhez csatlakoztatják a *2*, *4* és *6* egyenirányítókat. Az O_1 és O_2 csillagpontok közé kapcsolják az *SF* kiegyenlítő fojtót, amelynek középpontja az egyenirányító negatív pólusa. A szívó-fojtó két részét szembekapcsolják, és kétoszlopos vasmagon helyezik el. Az egyenirányító berendezés pozitív pólusa az a közös pont, amelyhez az *1*, *3* és *5* (páratlan csoport) és a *2*, *4* és *6* (páros csoport) egyenirányítókat kapcsolják.

A 40*b* ábrán folyamatos vonallal jelöltük a szekunder tekercsek páratlan csillagának U_{2a}, U_{2b} és U_{2c} fázisfeszültségeit; a szaggatott vonal a páros csillag U_{2x}, U_{2y} és U_{2z} fázisfeszültségeit jelöli. Az egyenirányított feszültség görbéje vastag vonallal van kiemelve. Ez hatperiódusonkénti ismétlődésű szinuszgörbe-szakaszokból (felső részeiből) áll, és a 40*d* ábrán látható üzemmódnak felel meg. Ebből látható, hogy a folyamat vizsgálatának kezdetén párhuzamosan működik az *5* és *6* egyenirányító. Ezt követően a t_1 idő alatt párhuzamosan működik a *6* és *1* egyenirányító. A t_2 idő alatt az *1* egyenirányító folytatja működését, de a *6* helyett belép a *2* egyenirányító. Ezt követően működik a *2* és *3* (t_3), majd a *3* és *4* (t_4) és végül a *4* és *5* (t_5). Ezután minden ugyanabban a sorrendben ismétlődik. Egyszóval minden pillanatban egymással párhuzamosan két egyenirányító működik, ehhez pedig nemcsak megfelelő kapcsolásuk szükséges, hanem az is, hogy a pillanatnyi feszültségek a párhuzamosan működő egyenirányítók körében kiegyenlítődjenek. Ezt szolgálja a szívó-fojtótekercs. Vizsgáljuk meg működését!

Tételezzük fel, hogy párhuzamosan működik a *6* és *1* egyenirányító. Az U_{2y} és U_{2a} fázisfeszültségek pillanatnyi értékkülönbségét a

függőleges U_k vonalakkal (ordinátákkal) határozzuk meg (40*b* ábra) az *SF* szívó-fojtótekercs két sorbakapcsolt részében.

A szívó-fojtótekercs egyes részei egyformák. Ezért az $U_{k1} = U_{k2} = 1/2U_k$ feszültségek abszolút értéke egyenlő, de a fojtó középső kivezetéséhez viszonyítva különböző előjelű. Következésképpen (példánkban) az U^*_{k2} feszültséget hozzá kell adni az U_{2v} fázisfeszültséghez (*1* egyenirányító), és ki kell vonni az U_{2y} fázisfeszültségből (*6* egyenirányító). Végül is a feszültségek kiegyenlítődnek, ami biztosítja a két egyenirányító párhuzamos működését. A feszültségváltozás jellegét a szívó-fojtóban a 40*c* ábra mutatja. Összehasonlítva ezt a 40*b* ábrával, könnyen belátható, hogy a szívó-fojtó frekvenciája háromszorosa a táphálózat frekvenciájának (hasonlítsuk össze a *T*/3 és *T* periódus időtartamát!).

A szívó-fojtótekercs működtetéséhez szükséges, hogy annak vasmagja mágnesezett állapotban legyen, ehhez pedig elegendő, hogy az egyik részen átfolyó áram elérje az egyik szekunder kör terhelési áramának mintegy 1%-át. A terhelőáram mindig átfolyik a szívó-fojtótekercsen, ami jól látható a 40*a* ábrából. Ha a terhelés kisebb 1%-nál, akkor a szívó-fojtó nem működik. Ebben az esetben az egyenirányító hatütemű egyenirányítóként működik, a feszültség pedig az $U'_{2\,max}$ helyett 13...15%-kal megnövekszik és eléri az $U_{2\,max}$ értéket.

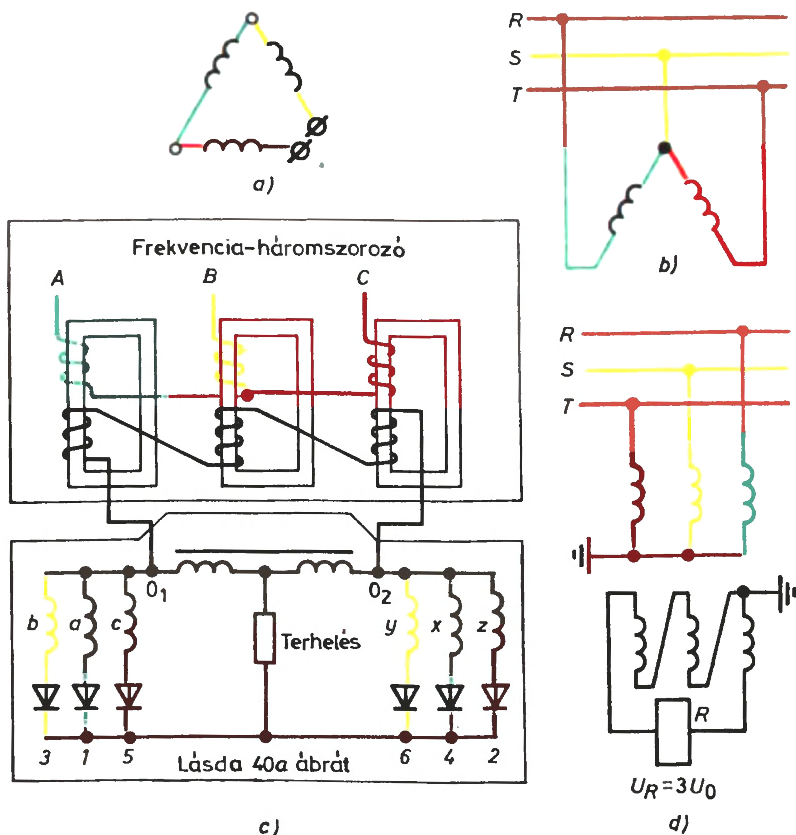
A feszültség ilyen megnövekedése korántsem mindig megengedett. Gondoljunk pl. arra, hogy éjszaka a villamos- és trolibuszvonalak nincsenek leterhelve, de a kocsik világítása működik, az izzólámpáknál a feszültségnövekedés jelentősen lecsökkenti azok élettartamát. Ezért vagy simító-fojtótekercset iktatnak a közös egyenáramú ágba (de az nem előnyös jelentős terheléseknél), vagy háromszoros frekvenciájú árammal mesterségesen felmágnesezik a szívó-fojtótekercset. Ilyen céllal a szívó-fojtóhoz kapcsolják a frekvencia-háromszorozó szekunder tekercsét.

6. NYITOTT HÁROMSZÖGKAPCSOLÁS. V-KAPCSOLÁS

Meg kell különböztetni a nyitott háromszögkapcsolást (41*a* ábra) és a V-kapcsolást (41*b* ábra). Vizsgáljuk meg ezeket néhány tipikus alkalmazási példán!

A nyitott háromszögkapcsolást pl. egyenirányító berendezésekben alkalmazzák háromszoros frekvenciájú áram előállítására a kiegyenlítő fojtó felmágnesezéséhez (40*a* ábra). E célból frekvencia-háromszorozót használnak, amely három egyfázisú transzformátorból áll erősen telített mágneses vezetőkkel. A frekvencia-háromszorozó primer tekercsei szigetelt csillagpontú csillagba vannak kapcsolva, szekunder tekercsei pedig nyitott háromszögbe (41*c* ábra). A vasmagok erős telítődése, kis mágneses ellenállásuk, a primer tekercs csillagpontjának áthatolhatatlansága a harmadik harmonikusok számára együttesen azt eredményezik, hogy a szekunder tekercsekben háromszoros frekvenciájú feszültségek keletkeznek, amelyek időben minden fázisban egybeesnek. A frekvencia-háromszorozó szekunder tekercseit lezáró *SF* szívó-fojtótekercsen keresztül háromszoros frekvenciájú áram folyik, s adott esetben erre van szükség.

Vegyünk egy másik példát, de most más területről. A 41*d* ábra egy zérus sorrendű feszültséget kiszűrő kapcsolást mutat, amely a szigetelt csillagpontú hálózatokban földzárlat helyének meghatározására használható. A primer tekercsek csillagba vannak kapcsolva, a csillagpont földelése ez esetben kötelező. Ebben az esetben minden fázis primer tekercse fázisfeszültségre van kapcsolva a földhöz képest. A nyitott háromszögbe kapcsolt szekunder tekercsek a *P* relét táplálják.



41. ábra. Kapcsolási példák: nyitott háromszög *(a)* és V-kapcsolás *(b)* között frekvencia-háromszorozó *(c)*, zérus sorrendű feszültségszűrő *(d)*.

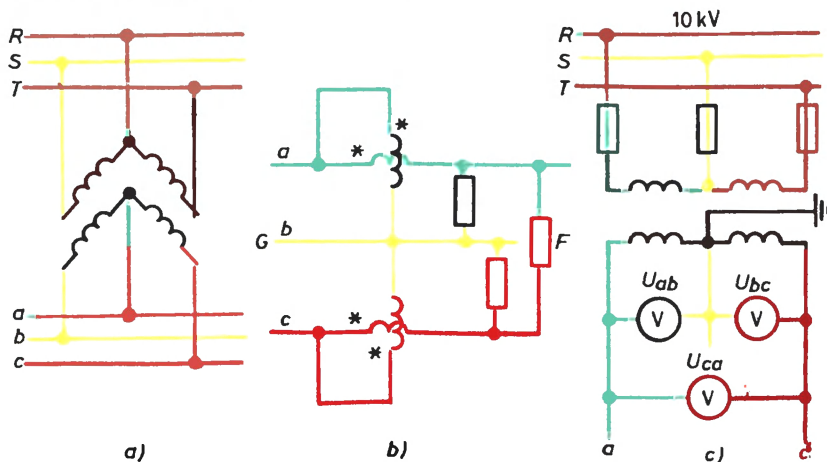
Normális körülmények között, valamint rövidzárlat esetén a fázisfeszültségek geometriai összege nullával egyenlő, tehát adott esetben a relé tekercsén feszültség nincs, és így a relé nyugalomban marad. Földzárlat esetén azonban a feszültségekben megjelenik a zérus sorrendű feszültségösszetevő (U_0). A relé működésbe lép és elvégzi a megadott műveleteket (bekapcsolja a jelzést, lekapcsolja a földzárlatos szakaszt, bekapcsolja a tartalék üzemet stb.).

Ügyelni kell a következőkre. A primer tekercs csillagpontjának földelése (41*d* ábra) a működés elengedhetetlen feltétele. A szekunder tekercs földelése a biztonság érdekében szükséges (l. a 2. fejezetet). Harmadik harmonikus áramok a szekunder tekercsekben nem keletkeznek, mivel a feszültségváltók vasmagjai a kis indukció miatt messze vannak a telítődéstől.

A V-kapcsolást ritkán alkalmazzák az erősáramú villamos berendezésekben, de a mérő-, regisztráló- és a bonyolult védőrelés áramkörökben mégis gyakori.

A 42*a* ábrán V-kapcsolásba kötött két egyfázisú erőátviteli transzformátor látható. Ez ugyanolyan, mintha három egyfázisú csoportból egy transzformátort egyszerűen kikapcsolnának, de minden kivezetése mind a primer, mind a szekunder oldalon megmaradna. Az ilyen kapcsolás sajátosságai a következők:

1. Az *ab* és *ac* fázisokban olyan áramok vannak, amelyek hatásos terhelés esetén a megfelelő fázisfeszültségekhez viszonyítva 30°-kal el vannak tolva, tehát minden transzformátor hatásos terhelés esetén $\cos\varphi = 0{,}866$ (nem pedig $\cos\varphi = 1$) értéken üzemel. A V-kapcsolású transzformátor leadott teljesítménye nem 2/3-a, hanem csak 58%-a (a 86,6% 2/3-a) annak a teljesítménynek, amely zárt háromszögkapcsolás esetén lenne.



42. ábra. Példák a V-kapcsolás alkalmazására.
A csillagok a tekercsek kezdetét jelölik

2. A fázisok különböző rezisztenciái megbontják a terhelés alatti szimmetriát.

Egy másik példa (42*b* ábra) mutatja két háromfázisú fogyasztásmérő feszültségtekercseinek V-kapcsolását háromfázisú háromvezetős hálózatokhoz (Aron-kapcsolás). Az áramtekercseket az *a* és *c* fázisba kapcsolták. A feszültségtekercsekre az *ab* és *bc* fázisok közötti feszültségeket kapcsolják, a *G* és *F* betűk értelemszerűen a *g*enerátort és a *f*ogyasztót jelentik. Csillaggal jelöltük a tekercsek kezdeteit.

A harmadik példán (42*c* ábra) két egyfázisú feszültségváltó V-kapcsolása látható. Ilyen kapcsolást alkalmaznak a nagyfeszültségű villamos berendezésekben, ha csak az U_{RS}, U_{ST}, U_{TR} vonali feszültségek ellenőrzése szükséges. $U_{RS}=kU_{ab}$; $U_{ST}=kU_{bc}$; $U_{TR}=$ $=kU_{ca}$, ahol k, a feszültségváltó áttétele, példánkban 10000 : 100 = = 100. A voltmérők skáláján az értékeket kV-ban tüntetik fel. A feszültségváltók szekunder tekercseit biztonsági okokból földelik.

7. PÉLDÁK MÉRŐTRANSZFORMÁTOROK KAPCSOLÁSÁRA

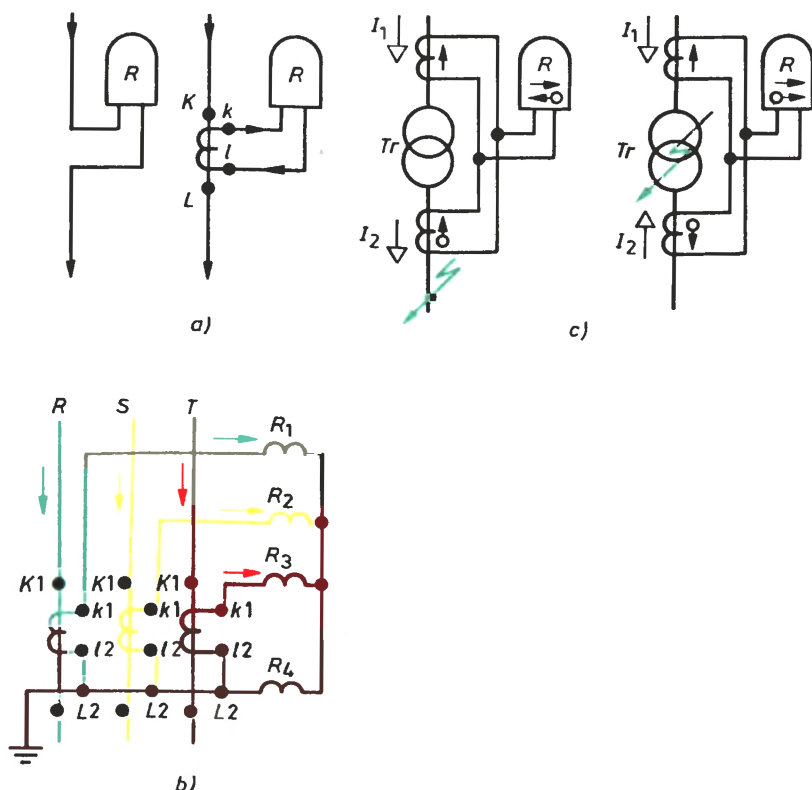
A villamos berendezésekben széles körben alkalmazzák az áram- és feszültségváltókat (mérőváltókat, mérőtranszformátorokat).

A nagyfeszültségű berendezésekben a mérőtranszformátoroknak kettős szerepük van. Elsősorban: ezek szigetelik el a relék, fogyasztásmérők és műszerek áramköreit a nagyfeszültségektől. A biztonság érdekében a szekunder tekercs egyik kivezetését földelik. Másodsorban az áramváltók az áramot,·a feszültségváltók pedig a feszültséget csökkentik olyan értékig, amelyeken már egyszerű a műszerek használata és kapcsolása. Az áramváltók szekunder tekercsének névleges áramerőssége vagy 5, vagy 1 A. A feszültségváltók névleges szekunder feszültsége 100 V.

Az áramváltók kivezetéseinek jelölési rendszerét a 43*a* ábra magyarázza meg. Ezen bal oldalon az *R* relé közvetlen bekötése látható valamilyen időpillanatban. A nyíl az áram irányát mutatja. Jobb oldalon a relét az áramváltón át kötöttük be. Az áramváltó primer tekercsének (vonal) kivezetéseit *K* (kezdet) és *L* (vége) jelekkel jelölik. A szekunder tekercsek kivezetéseit *k* (kezdet) és *l* (vége) jelekkel jelöltük. Összehasonlítva az *a)* ábra bal és jobb részét, könnyen észrevehető, hogy az áram iránya a relében mindkét esetben azonos.

A feszültségváltók kivezetéseinek jelölése

A tekercsek kezdeteit *A*, *B*, *C*, *a*, *b*, *c*, végeit pedig *X*, *Y*, *Z*, *x*, *y*, *z* betűkkel jelöljük, ugyanúgy, mint az erőátviteli transzformátorokét (4. táblázat).



43. ábra. Az áramváltók kapocsjelölései

A mérőtranszformátorok (mérőváltók) a körülményektől függően csillagba, V-kapcsolásba, háromszögbe, nyitott háromszögbe kapcsolhatók. A mérőtranszformátorokról táplált relék, fogyasztásmérők és mérőműszerek egymással és a mérőtranszformátorokkal különböző módon kapcsolhatók össze. Szükség esetén csillaggal jelölik meg a tekercsek kezdeteit (l. a 44. ábrán levő példát). A 43*b* ábrán a három áramváltó és az *R*1, *R*2 és *R*3 relék csillagba vannak kapcsolva. Az *R*4 relé a nullavezetőbe van kötve.

Normál üzemmódban, valamint háromfázisú rövidzárlat esetén áram csak az *R*1, *R*2, *R*3 reléken folyik, az *R*4 relében nem, ugyanis

az $R1$, $R2$, $R3$ reléken átfolyó áramok vektoriális összege nullával egyenlő.

Kétfázisú rövidzárlat esetén az áram a két hibás fázisban (pl. *R* és *T*) folyik, és működésbe lép az $R1$ és $R3$ relé. Az $R4$ relében a két fázis áramainak összege folyik, amelyek adott esetben egyenlők, de ellentétes irányúak, ezért az $R4$ relé nem működik.

Egyfázisú rövidzárlat esetén (pl. az *S* fázis földzárlatakor) működésbe lép a hibás fázis $R2$ reléje és az $R4$ relé, így a csillag nullavezetője a zérus sorrendű áram szűrőjének tekinthető. A pozitív és negatív sorrendű áramok rajta keresztül nem haladnak, ugyanis összegük nullát ad.

A *T* transzformátor különbözteti védelmének működési elvét a 43*c* ábra magyarázza. Bal oldalon ábrázoltuk az áramirányt névleges

4. táblázat. **A feszültségváltók kapocsjelölése**
(az MSZ 1577/1-67 szerint)

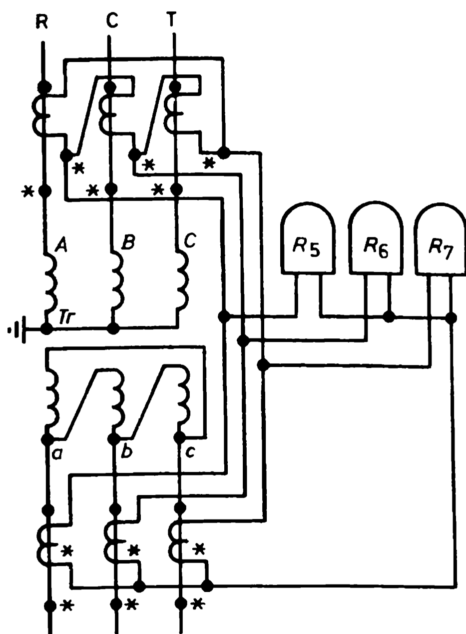
Fázis-szám	Primer kivezetés szigetelése	Primer tekercs		Szekunder tekercs		Földzárlat-jelző tekercs	
		eleje	vége	eleje	vége	eleje	vége
Egyfázisú	kétsarkúlag szigetelt	*A*	*B*	*a*	*b*		
	egysarkúlag szigetelt	*A*	*N*	*a*	*n*		
Háromfázisú	kivezetett primer csillagpont nélkül csökkentett szigeteléssel,	*A*, *B*, *C*		*a*, *b*, *c*			
	kivezetett primer csillagponttal	*A*, *B*, *C*	*N*	*a*, *b*, *c*	*n*	*e*	*f*

Megjegyzések:
– Ha a háromfázisú feszültségváltó mindhárom fázisának eleje és vége is ki van vezetve, akkor a tekercsvégeket *X*, *Y*, *Z*, ill. *x*, *y*, *z* jelzéssel kell ellátni.
– Az *N* jelű, földelendő kapcsot a földelés jelével is el kell látni.

terhelés és külső rövidzárlat esetén (I_1 és I_2 az erőátviteli kör áramai). Nem nehéz belátni, hogy az áram az R relében közel van a nullához, ugyanis az áramváltó szekunder áramai (l. a nyilat) a relén keresztül egymással szemben haladnak. Természetesen az áramváltók áttételét megfelelő értékűre kell választani. Transzformátoron belüli rövidzárlat (43*c* ábra jobb oldala) vagy kapocszárlat esetén az áram iránya megváltozik, az áramok értéke a relében összegződik, majd a relé működésbe lép.

A 44. ábra példa a csillag–háromszög kapcsolású transzformátor különbözeti védelmének kialakítására, azaz amikor a primer és szekunder áramok egymáshoz viszonyítva 30°-kal eltolódtak.

Ilyen esetekben a primer és szekunder áramok abszolút értékében meglevő eltérések kiegyenlítésén kívül (az áramváltók áttételének megválasztása révén) még ki kell egyenlíteni a fáziseltolást is. A fáziseltolás úgy egyenlíthető ki, hogy az erőátviteli transzformátor csillagkapcsolási oldalán levő áramváltót háromszögbe kapcsolják, a háromszögkapcsolású oldalon levő áramváltót pedig csillagba.



44. ábra. Áramváltók kapocsjelölése háromfázisú rendszerben

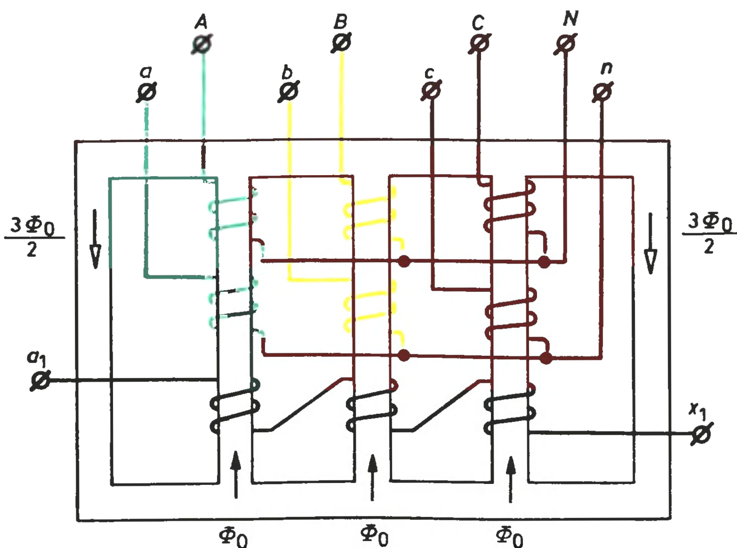
Ilyenkor fontos a következő szabályok betartása:

1. Az áramváltók kapcsolása pontosan feleljen meg az erőátviteli transzformátorok kapcsolási csoportjának.

2. Az áramváltókat és az *R5*, *R6* és *R7* reléket úgy kell egymással összekapcsolni, hogy külső rövidzárlat esetén a szekunder áramok iránya az összekötő vezetőkben azonos, a relékben pedig ellentétes legyen.

A feszültségváltókat csillagba szokták kapcsolni kivezetett csillagponttal, ami lehetővé teszi mind a vonali, mind a fázisfeszültségek mérését. A vonali feszültségek méréséhez a voltmérőket az *R* és *S*, *S* és *T*, *T* és *R* kapcsokra kapcsolják. A fázisfeszültségek méréséhez a voltmérőket a vonal (fázis-) és nullavezető közé kapcsolják (*R–N*, *S–N*, *T–N*).

Ha csak az egyes vonali feszültségek mérése is elegendő, akkor a V-kapcsolást alkalmazzák (42*c* ábra). Szigetelt csillagpontú hálózatokban a földzárlat kimutatására a feszültségváltók szekunder tekercseit háromszögbe kapcsolják (41*d* ábra).



45. ábra. Ötoszlopos feszültségváltó

Ötoszlopos feszültségváltó. A háromfázisú feszültségváltókat (45. ábra) általában ötoszlopos kivitelben készítik. A szélső (tekercs nélküli) oszlopok célja, hogy rajtuk keresztül záródjanak a zérus sorrendű mágneses fluxusok. Ezek a Φ_0 fluxusok a középső oszlopokban azonos irányúak és összegük $3\Phi_0$.

A transzformátornak három tekercscsoportja van. A primer tekercsek kimenetei *A*, *B*, *C* és *N*. A szekunder tekercseké *a*, *b*, *c*, *n*, céljuk a fázis- és vonali feszültségek mérése. A járulékos tekercseket nyitott háromszögbe kapcsolják. Ezek a_1 és x_1 kimenetein feszültség csak földzárlat esetén keletkezik (l. a 41*d* ábra magyarázatát).

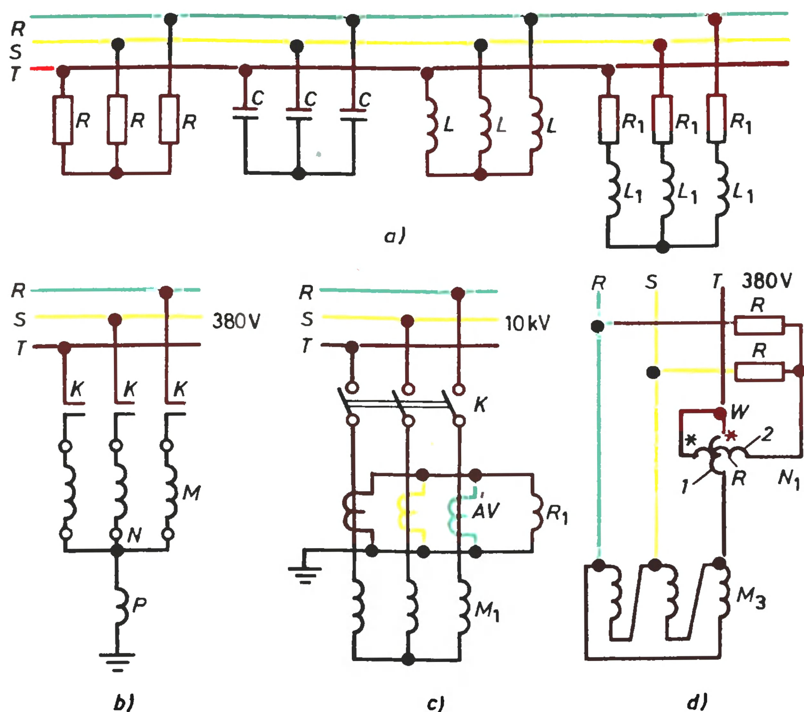
8. MESTERSÉGES NULLAPONT

A háromvezetős háromfázisú hálózatokban nincs nullavezető, ezért gyakran szükséges mesterséges nullapont létrehozása, amely három azonos impedancia csillagkapcsolásával alakítható ki. Ez lehet: három hatásos ellenállás (*R*), pl. három azonos teljesítményű izzólámpa, vagy lehet kondenzátor (*C*), vagy induktív reaktancia (*L*) (46*a* ábra) stb. Vizsgáljunk meg néhány tipikus esetet!

A 46*b* ábrán levő *M* villamos motor tekercseinek hat kivezetése van, ezért csillagkapcsolás esetén könnyen nyerhetünk csillagpontot (*N*). A csillagpont és a föld közé az *R* relé van kapcsolva. Addig, amíg minden fázis üzemben van, a relé tekercsén a feszültség közel nulla, ugyanis a föld és az *N* pont potenciálja gyakorlatilag azonosak. Ha egy vagy két fázis áramköre megsérül, akkor az *R* relé működésbe lép és kikapcsolja a *K* érintkezőt.

A 46*b* ábrán látható kapcsolás nem alkalmazható a nagyfeszültségű villamos motorokhoz. Ilyen esetekben használják a mérőtranszformátorok szekunder tekercseiben létrehozott mesterséges nullapontot. Így pl. a 46*c* ábrán az *R*1 relét három *TT* áramváltó csillagpontjába kapcsolták. Az *M*1 motor egy vagy két fázisának megsérülésekor az *R*1 relé működik és kikapcsolja a *K* kapcsolót.

A 46*d* ábra a háromszögbe kapcsolt *M*3 háromfázisú motor teljesítménymérését ábrázolja. Az egyfázisú *W* wattmérő *1* áramtekercsét az (általa mutatott értékét 3-mal meg kell szorozni, ugyanis csak egy fázis teljesítményét méri) a *T* fázisba kapcsolták. A *2* feszültségtekercs kezdetét ugyanehhez a fázishoz kapcsolták, a végét pedig az N_1 mesterséges nullaponthoz; ezt a pontot a *2* tekercs és a két vele egyenértékű *R* ellenállás alkotja.



46. ábra. Mesterséges csillagpont a mérő- és védőáramkörökben

Adott esetben ellenállások azért alkalmazhatók, mivel a wattmérő (nem számláló!) tekercsének induktív reaktanciája nem számottevő és vele sorosan egy egészen jelentős rezisztenciájú ellenállás van kapcsolva. A számláló nagy induktivitású tekercsét teljes hálózati feszültségre kapcsolják, tehát a számláló bekapcsolásakor nem lehet hatásos ellenállást használni a nullapont képzéséhez, a 17. és 18. ábrák tárgyalásakor már említett okok miatt.

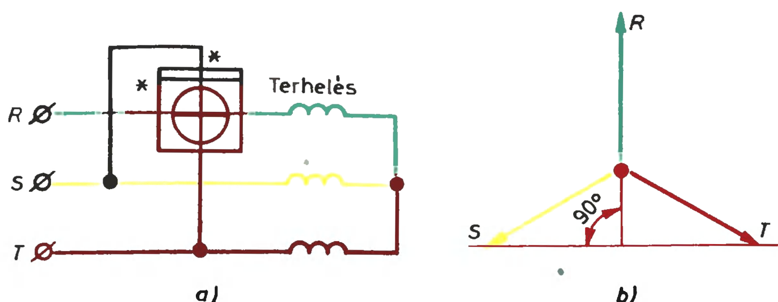
9. A FÁZISHELYZET MEGVÁLTOZTATÁSA A TEKERCSEKBEN

Egy sor gyakorlati feladat megoldásához meghatározott fáziseltolás előállítására van szükség, amelynek nemcsak értéke, de esetleg az iránya is adott. Ilyen példákkal már találkoztunk a transzformátorok kapcsolási csoportjainak meghatározásakor.

30° és 60° eltolás. A tekercsek csillag- és háromszögkapcsolásakor 30° többszörösét kitevő eltolásokat nyerünk. Attól függően, hogy a tekercseket a végükkel vagy a kezdetükkel, valamint hogy milyen irányban (*R* fázistól *S* fázisig vagy fordítva) kötjük össze, az eltolás iránya is megváltozik.

Zegzug–csillag kapcsolásban az egyik szakasz végét összekapcsolják a másik szakasz végével és a szög 30°-kal megváltozik. Ha viszont a véget nem a véggel kapcsolják össze, hanem a véget a kezdettel, akkor a vektorok 60°-os szöggel fordulnak el (l. a 37. ábrát). Más szóval a tekercsek átkötésével könnyen nyerhetünk 30° és 60° szögű eltolódást.

Ilyenkor figyelemmel kell lenni a következőkre. Először: a tekercsek átkötésekor nemcsak a szög változhat (amire szükség van), de a feszültség is (l. a 37*c* ábrát). Másodszor: a tekercsek szembekapcsolása (mint határeset) vagy a köztük levő szög megváltozása csökkentheti az induktív reaktanciát, ez pedig az áram növekedését idézi elő. Az áram növekedése veszélyes a tekercsekre, ezenkívül maga után vonhatja a vasmag telítődését. A dolog jóval komolyabb, mint ahogy az első pillantásra tűnik, ezért addig, amíg nem győződtünk meg arról, hogy az áram nem lépi túl a megadott értéket, nem szabad elvégezni az átkapcsolást.



47. ábra. 90 -os fáziseltolódás előállítása

90°-os eltolás. Vizsgáljuk meg a 90°-os eltolás előállításának egy elterjedt példáját. A 47*a* ábra mutatja a meddőfogyasztás-mérő bekötését. Ügyelni kell arra, hogy az áramtekercs (vastag vonal) az *R* fázisba, a feszültségtekercs pedig az *S* és *T* fázisok közé legyen kapcsolva. A 47*b* ábrán látható vektordiagram szerint könnyen belátható, hogy a 90°-os eltolás ilyen egyszerű módszerrel is elérhető.

Tetszőleges szögű eltolást 0°...90°-ig könnyen nyerhetünk fázisszabályozóval, azaz forgatható háromfázisú transzformátorral. Ez úgy tekinthető, mint egy fékezett forgórészű aszinkron gép. Ha a forgórész állórészhez viszonyított helyzetét elforgatással finoman megváltoztatják, megváltozik a forgórész feszültségeinek fázisa, ugyanakkor értéke (nagysága) változatlan marad.

Meg kell különböztetni a fázisszabályozót az indukciós szabályozótól. A fázisszabályozóban csak a fázisszög változik; a potenciálszabályozóban megváltozik a fázisszög és a feszültség értéke is. Ezenkívül a fázisszabályozó primer és szekunder tekercsei egymástól kölcsönösen elszigeteltek, a potenciálszabályozó tekercsei között fémes kapcsolat van. Befejezésül megjegyezzük, hogy ellenállás és induktív, valamint kapacitív reaktanciák összekapcsolásával bármilyen fáziseltolódás elérhető. Az ilyen statikus átalakítókat széles körben alkalmazzák.

10. A FÁZISHELYZET MEGHATÁROZÁSÁNAK ESZKÖZEI

A háromfázisú villamos berendezések (elsősorban transzformátorok, motorok, vezetékek és vezetékrendszerek) fázishelyzetét, ill. helyes fázissorrendjét hálózatra kapcsolásuk előtt, valamint olyan javításuk után kell meghatározni, amelyeknél a fázisok egymáshoz viszonyított sorrendje vagy helyzete megváltozhatott.

A fázishelyzet többnyire két művelettel határozható meg. Az első művelet az összekapcsolni kívánt fázisok egyneműségének (jel- és színegyeztetés) ellenőrzése. E művelet során az adott berendezés valamennyi eleménél ellenőrzik összekapcsolásuk, azaz az áramvezetők bekötésének helyességét.

A második művelet során az azonos nemű feszültségek fázisszögét ellenőrzik, tehát azt vizsgálják, hogy van-e közöttük szögeltolódás vagy nincs. A fázishelyzet meghatározására különböző módszereket alkalmaznak. Az egyes módszereket az adott berendezés (transzformátor, motor, távvezeték) rendeltetése, a tekercsek kapcsolása (kapcsolási csoportja), valamint a fázishelyzet (fázissorrend) meghatározására alkalmazott műszerek és eszközök figyelembevételével alkalmazzák.

A fázishelyzet meghatározásához feszültségmérőket (gyakran kombinált mérőműszereket), fázissorrendjelzőket, feszültségjelzőket, kombinált készülékeket alkalmaznak. Ezek egy része az általánosan, tehát más célra is használatos készülékek csoportjába sorolható, ezekről csak röviden szólunk. Vannak azonban olyan készülékek és eszközök, amelyeket viszont csak erre a célra használnak, így részletesebb leírásuk szükséges.

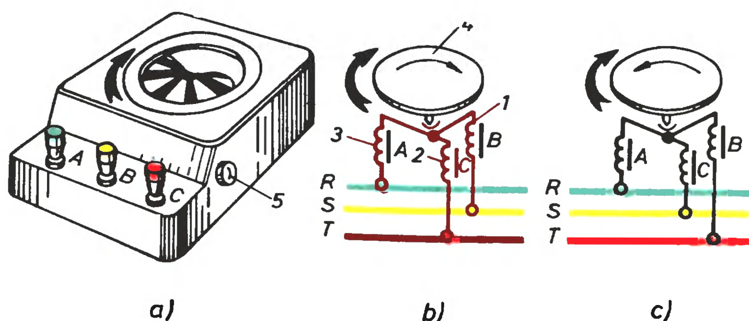
Feszültségmérők

A villamos berendezések fázishelyzetének meghatározására változófeszültség mérésére alkalmas, általában lágyvasas, vagy egyenirányítós voltmérőt alkalmaznak. A feszültségmérő műszerekkel szemben nagy pontossági igény nincsen, követelmény, hogy a műszer méréshatára legalább a mérési helyen fellépő feszültség kétszerese legyen. (Ilyenek pl. a GANZUNIV–1, GANZUNIV–3, GANZUNIV–4, az NDK gyártmányú UNI–7 és UNI–10 stb.)

Az 1000 V-nál nagyobb feszültségű berendezéseken (sín, generátor stb.) a berendezés feszültségváltójához (mérőtranszformátorához) kapcsolják a feszültségmérő műszert, és a műszer méréshatárát a feszültségváltó szekunder oldali feszültségéhez kell megválasztani.

Fázisázissorrendjelző (forgásirányjelző)

Fázissorrendjelzőt szemléltet a 48*a* ábra. A készülék ferromágnes vasmagokon elhelyezett *1*, *2*, *3* tekercsből, valamint egy tengelyre rögzített *4* könnyű alumínium tárcsából áll. A műszer működése megegyezik a rövidrezárt aszinkron motoréval. Ha a három tekercset a háromfázisú rendszerhez kapcsoljuk, akkor a forgó mágneses tér hatására a tárcsa a mágneses tér forgásirányával megegyezően forog. A mágneses mező és a tárcsa forgási irányát kizárólag a tekercsekber folyó áramok iránya határozza meg.



48. ábra. Fázissorrendjelző műszer *(a)*, a tárcsa forgási iránya azonos *(b)* és ellentétes *(c)* fázissorrend esetén

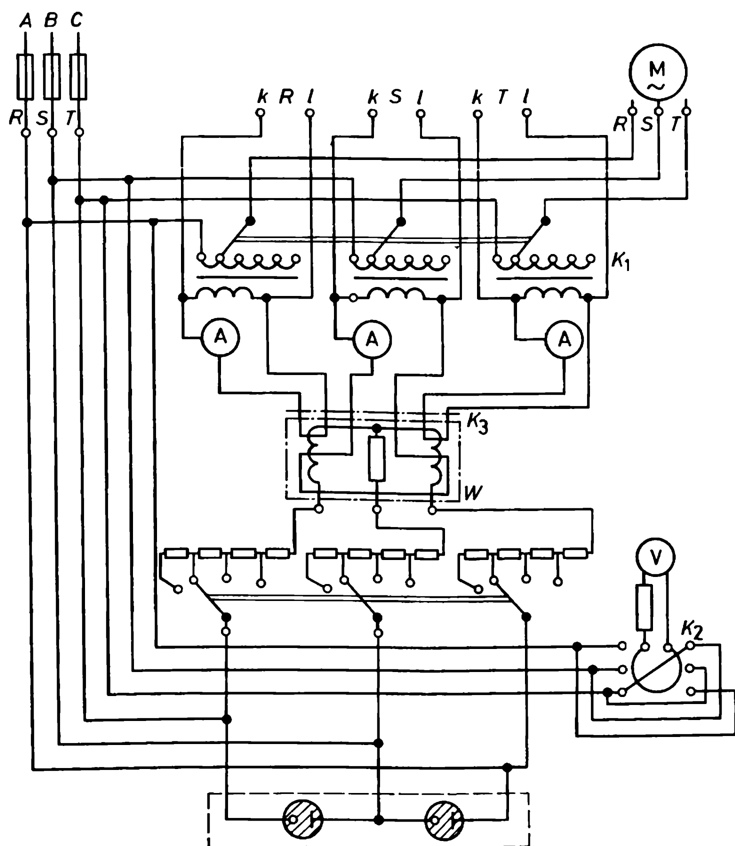
A *fázissorrend* a következőképpen határozható meg: A fázissorrendjelzőt az ellenőrizendő berendezéssel összekapcsolják. Ha a vizsgált fázisok megegyeznek a műszer belső kapcsolásának megfelelő fázissorrenddel, akkor a tárcsa az 5 gomb benyomása után a nyíllal jelzett irányba fordul el. Ez az irány, ill. tárcsaforgás felel meg az *RST* (esetleg más jelölésekkel *ABC*) fázissorrendnek. Ellenkező esetben a *fázissorrend* nem megfelelő. A megfelelő fázissorrend előállításához elegendő bármelyik két fázis felcserélése.

Ez a műszer az 50...500 V feszültségű hálózatra legfeljebb 5 s időtartamra kapcsolható.

Egyetemes (univerzális) műszerek, ill. mérőkészülékek

A fázissorrend helyességének megállapításán kívül az üzemi szakembereknek gyakran egyéb feladatokat is el kell látniuk. Ilyen feladatok közé tartozik pl. a villamos fogyasztók felvett teljesítményének, áramának és feszültségének mérése. Ezek az adatok hasznosak lehetnek nemcsak a hatásfok, hanem a fázistényező kiszámítására is. Az ilyen mérések általában sok mérőműszert, áram- és feszültségváltót, előtétellenállást stb. igényelnek. Összekapcsolásuk időrabló és meglehetősen bonyolult. Célszerű tehát a mérésekhez szükséges eszközöket egymással előre összekapcsolni és készre szerelve – hordozható mérőbőröndbe – összefoglalni. Ilyen berendezés pl. a hazai „MULTIMES LILIPUT" mérőbőrönd, amely alkalmas egyfázisú és szimmetrikusan vagy aszimmetrikusan terhelt háromfázisú, három-, ill. négyvezetős rendszerek fogyasztói adatainak mérésére, továbbá a hálózat helyes fázissorrendjének ellenőrzésére is.

A mérőbőrönd elvi kapcsolási vázlatát a 49. ábra tünteti fel. A mérőbőrönd a kapcsolási vázlatnak megfelelően a hálózatról fázisonként egy-egy áramváltó primer tekercsén keresztül csatlakozik a mérendő fogyasztóhoz. Az áramváltó primer tekercselése öt megcsapolással: 100, 50, 25, 10 és 5 A primer áramra méretezve készül; a szekunder áramerősség 5 A. Ennek megfelelően tehát az áramváltók áttétele 1:20, 1:10, 1:5, 1:2 és 1:1. Az áramváltók vasmagja különleges kis hiszterézisveszteségű Permalloy C szalagból készül. E jó minőségű vasmag és annak megfelelő kialakítása, valamint a szekunder tekercsek különleges korrekciója révén sikerült elérni, hogy a kis súlyú áramváltó áttételi és szöghibája a szabványban megadott terhelési határok között megfelel a H 0,2% osztálypontosságnak.



49. ábra. A MULTIMES-Liliput mérőbőrönd elvi kapcsolása

Az áramváltók szekunder kapcsaira mindhárom fázisban egy-egy 0,5 osztálypontossággal lágyvasas rendszerű ampermérő csatlakozik. A skálabeosztás 6 A-ig terjed, amelyen leolvasott érték az áramváltó áttételétől függően a műszeren feltüntetett szorzótényezővel szorozva adja a valódi értéket. Az ampermérők fogyasztása 1 VA, a skála hosszúsága 90 mm, a pontos leolvasást késélmutató és tükörskála könnyíti meg.

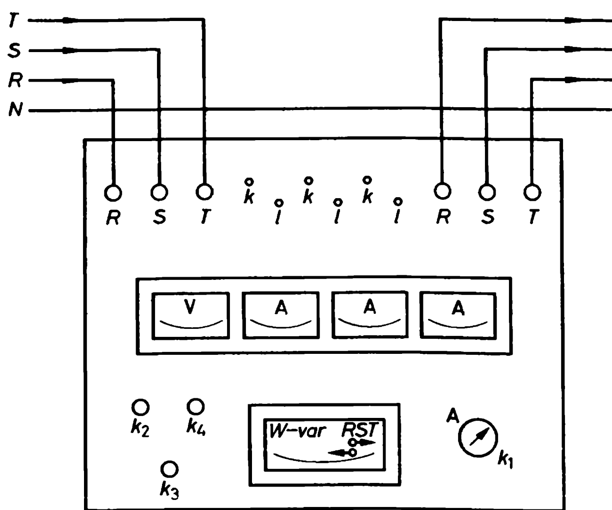
Az áramváltók szekunder körébe az ampermérők tekercseivel sorba vannak kapcsolva a kétmérőrendszeres, háromfázisú, vaszáró-

dású, elektrodinamikus wattmérő áramtekercsei. A wattmérő skálabeosztása 100°, a skála hossza kb. 120 mm. Az ampermérőkhöz hasonlóan a wattmérő is késélmutatóval és tükörskálával készül. A műszert 50 Hz frekvenciájú szinusz alakú váltakozóárammal hitelesítik, mind a feszültség-, mind az áramtekercsek 20%-kal tartósan túlterhelhetők. A műszer fogyasztása névleges feszültség és áramértékeknél 2 VA. A tényleges teljesítmény értékét a műszer által mutatott értékeknek az áram- és feszültségmérőnek a határkapcsoló állásától függő, és a műszer skálalapján levő táblázatban feltüntetett szorzótényezővel való szorzata adja.

A bőröndbe be van építve egy lágyvasas voltmérő is. Skálabeosztása 100°, egyik méréshatára 300, a másik 600 V. A voltmérő is késélmutatóval és tükörskálával készül, fogyasztása 1 VA.

A bőröndbe épített műszerek alap osztálypontossága 0,5%, az áramváltók, előtétek 0,2% pontosak, így a mérőbőrönd eredő osztálypontossága: 1%.

A helyes fázissorrend ellenőrzésére fázissorrend-mutató van a bőröndbe építve, amely a *W* mérőben elhelyezett két glimmlámpa segítségével mutatja a helyes fázissorrendet. A műszer két V-kapcsolású tekercse a wattmérő előtét-ellenállásával van sorbakapcsolva.



50. ábra. A mérőbőrönd műszerlapja és bekötése háromfázisú fogyasztás esetén

Az áramváltók áttételét beépített háromfázisú K_1 átkapcsolóval változtatjuk (50. ábra), amely kapcsoló a primer áramkör megszakítása nélkül iktatja be az áramváltók megfelelő primer tekercseit. Az átkapcsoló hat állású. Első fokozatával lehetővé teszi, hogy a fogyasztói készüléket az áramváltó kiiktatásával közvetlenül kapcsolják a hálózatra. Ezáltal a nagy áramlökéssel induló fogyasztók (pl. rövidrezárt forgórészű aszinkron motorok) mérésekor az áramváltók és műszerek a bekapcsolási áramlökések ellen védve vannak. A tényleges mérésnél – a terhelésnek megfelelően – a kapcsoló a 100, 50, 25, 10 és 5 A áramerősségre méretezett primer áramtekercset iktatja be a közölt sorrendben a mérőkörbe.

A K_2 négyállású kamrás kapcsoló segítségével a voltmérő különböző vonali feszültségre kapcsolható. Az átkapcsoló nulla állásban kiiktatja a voltmérőt, majd a többi három állásban azt az R–S, S–T és T–R vonalfeszültségekre kapcsolja.

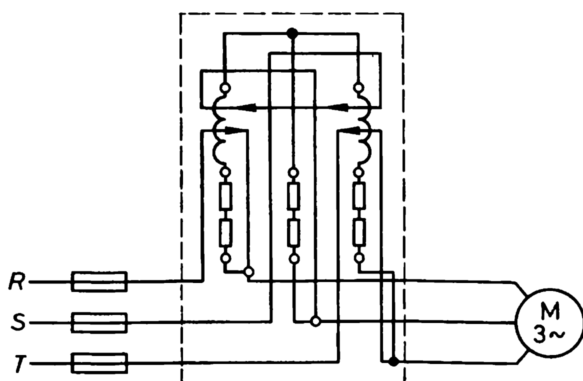
A K_3 kamráskapcsoló a beépített wattmérő feszültségtekercseit kapcsolja oly módon, hogy az a kapcsoló különböző állásainak megfelelően fogyasztói és generátoros wattos, ill. induktív és kapacitív meddő teljesítményt mér.

A K_4 a kamráskapcsoló a wattmérő feszültségtekercseinek és a voltmérő előtétfokozatait kapcsolja a mérendő hálózat feszültségétől függően 110, 200, 380 és 550 V, ill. 300 és 600 V méréshatárra.

A mérőbőrönd alkalmazási területe

Mint már az előzőkben említettük, a MULTIMES LILIPUT típusú mérőbőrönd egyfázisú, valamint szimmetrikus és aszimmetrikusan terhelt három-, ill. négyvezetős háromfázisú rendszer fogyasztóinál teljesítmény-, áram- és feszültségmérésre, valamint a fázissorrend megállapítására alkalmas.

A mérőbőrönd bekötését háromfázisú fogyasztók esetében az 50. ábra tünteti fel. Az ábrának megfelelően a hálózatot a bőrönd bal oldali három bevezetéséhez kell kötni, a jobb oldali kivezetésekhez pedig a mérendő fogyasztó csatlakozik. A bőrönd bekötése előtt a K_4 kapcsolóval a megfelelő feszültség-méréshatár állítandó be, majd – a fogyasztó üzembe helyezése után – a K_1 kapcsoló segítségével az áramváltók megfelelő áttételét kell kiválasztani. Így a fázisonként beépített ampermérőnek az egyes fázisáramokat, a voltmérő pedig a K_2 kapcsoló által kiválasztott vonali feszültséget méri.



51. ábra. A mérőbőrönd felhasználása teljesítmény mérésére

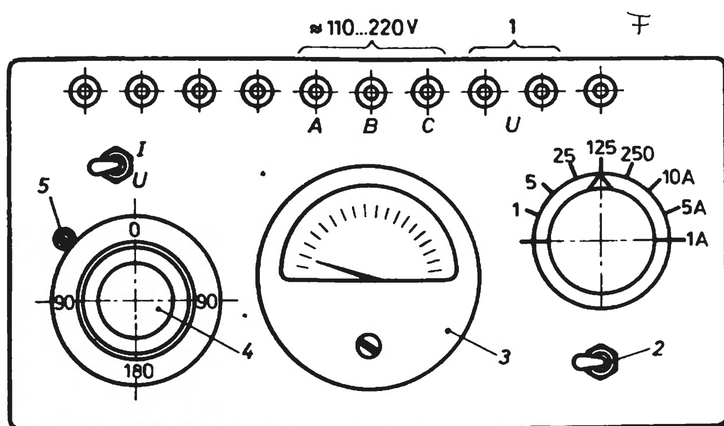
A teljesítményt kétmérőrendszeres, különleges kapcsolású wattmérő méri. E wattmérő kapcsolását és áramköreit a háromfázisú felvett wattos teljesítmény mérésénél az 51. ábra mutatja.

Az előzőkben ismertetett mérőberendezés 580 × 375 × 180 mm méretű, kalapácslakkozott fémdobozba van beépítve. A bőrönd fedele a könnyebb mérés érdekében a békazárak nyitása után leemelhető.

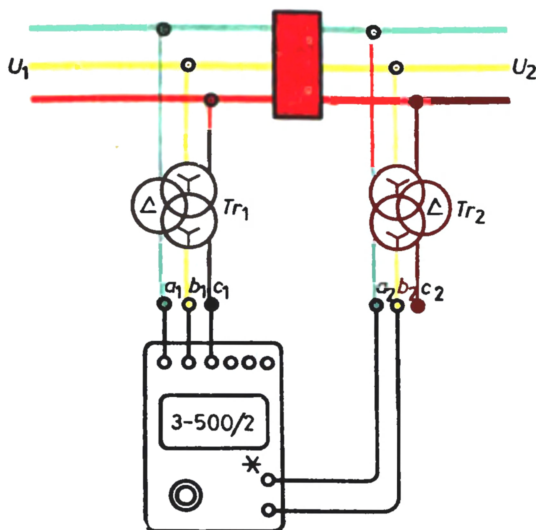
A beépített mérőműszerek, kapcsolók, áramváltók, előtét-ellenállások a dobozhoz erősített 8 mm vastag szigetelő szerelőlapra vannak szerelve. E szerelőlapot hézagmentesen 2 mm-es alumínium fedőlemez borítja, amelynek szürke felületén a jelzések fekete színűek.

A hálózat a bal oldali, befelé mutató nyilakkal jelölt *R*, *S*, *T* jelű kivezetésekhez, a mérendő fogyasztó pedig a jobb oldalon elhelyezett, kifelé mutató nyilakkal megjelölt kivezetésekhez csatlakozik. Külső áramváltók használata esetén az áramváltók szekunder kivezetéseit a bőrönd felső éle mentén sorban elhelyezett (egyértelműen megjelölt) kapcsolókhoz kell kötni. Az esetleges külső feszültségváltók szekunder kivezetéseit mint hálózatot kell a bőrönd kapcsaihoz csatlakoztatni.

A fedőlemezen feltüntették a különböző kapcsolók rendeltetését, a megfelelő kapcsolóállásokat és méréshatárokat, valamint a mérés helyes elvégzéséhez szükséges egyéb jelöléseket. A műszereknek a különböző méréshatárokhoz tartozó állandói – táblázatba foglalva – a műszerek skálalapján találhatók.



52. ábra. VAF–85 típusjelű műszer
1 voltmérő-csatlakozás; *2* átkapcsoló; *3* mérőműszer; *4* fázissorrendjelző; *5* átkapcsoló



53. ábra. Fázishelyzet azonosságának megállapítása E–500/2 típusú műszerrel

Az egyetemes mérőműszerek egy másik példája látható az 52. ábrán. A VAF–85 típusjelű, szovjet gyártmányú műszer volt- és ampermérőt és egyetemes fázissorrendjelzőt tartalmaz. Segítségével a feszültségen kívül a két feszültség közötti szögeltolódás és a fázissorrend határozható meg. Háromfázisú szimmetrikus rendszerekben a feszültségvektorok közötti fázisszög, a fázissorrend és a transzformátortekercsek kapcsolási csoportjának meghatározására szolgál az E–500 típusú, szintén szovjet gyártmányú egyetemes mérőműszer. Az 53. ábrán a készülék bekötése látható arra az esetre, amikor a két feszültség közötti fázisszöget kívánják meghatározni.

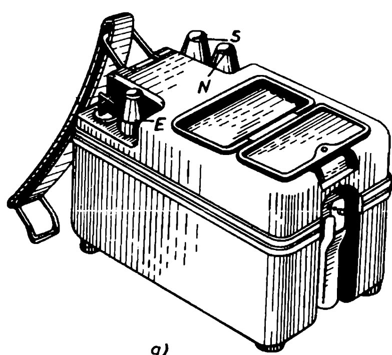
Megohmmérő

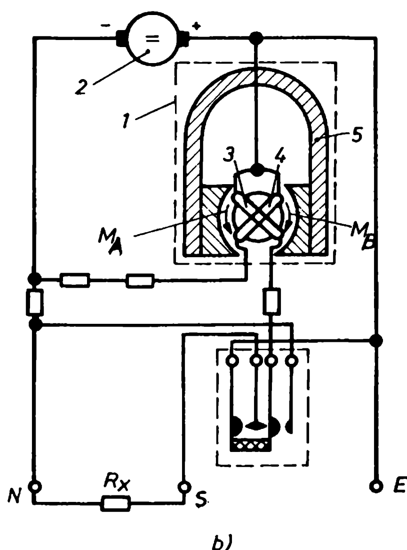
Hordozható műszer, amelynek általános rendeltetése a szigetelési ellenállás mérése igen széles mérési tartományban (gyakorlatilag 0...∞ Ω-ig). A műszer sajátossága lehetővé teszi felhasználását a fázisegyeztetés műveleteiben is.

Az 54. ábra bemutatja az M–1101 típusú megohmmérő (megger) elvi kapcsolási vázlatát és külső képét. A műszer egy érzékelőelemből *(1)* és egy saját tápforrásból – kis méretű kézi meghajtású egyenáramú generátorból *(2)* – áll. A mérendő R_x ellenállást az *L* és *Z* kapcsok között a generátorral sorba kapcsolják. A generátor forgórészén hajtókar található. Ha a hajtókart kb. 120 fordulat/min gyakorisággal elforgatjuk, az állórész kapcsain névleges feszültség lép fel, s az érzékelőelem *3* és *4* keretein a megfelelő ellenállások által korlátozott áram folyik. Az áram hatására az *5* állandómágnes mágneses mezejével átjárt keretekben, a mérőszerv tengelyén olyan forgatónyomaték keletkezik, amely a mutatót a skála meghatározott pontjára lendíti.

Az érzékelőelem két könnyű keretét (tekercsét) mereven egy tengelyre rögzítik és a mágnes pólusai közti hézagba helyezik. A pólusok olyan kialakításúak, hogy a köztük levő mágneses mező ne legyen egyenletes.

A kereten az áram áthaladásakor olyan forgatónyomaték keletkezik, amely arányos a keretben folyó áram és a keret pillanatnyi helyzetében levő indukció szorzatával. Az érzékelőelem kereteiben az M_A és M_B nyomatékok ellentétes irányúak, tehát az érzékelőelem mozgórendszere csak akkor van nyugalomban, ha a forgatónyomatékok egyenlők. Ez az egyenlőség megbomlik, ha a keretekben az ára-





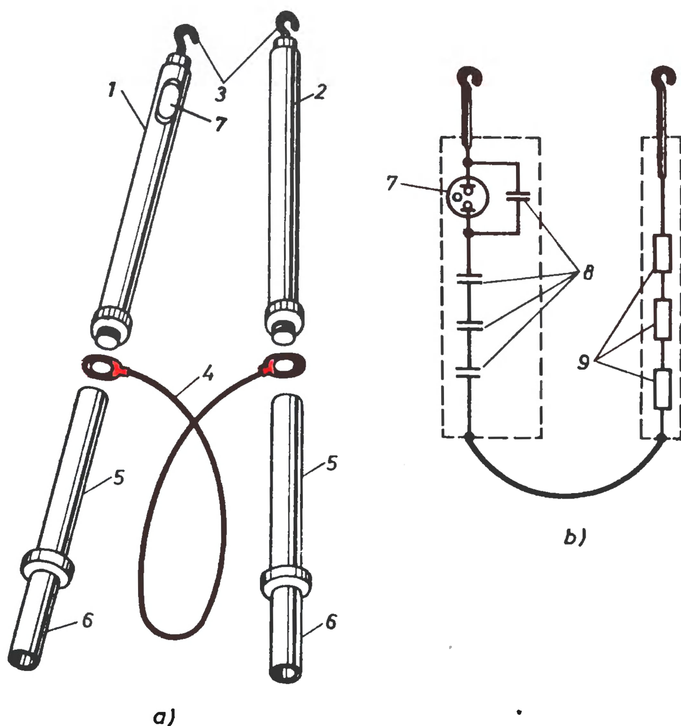
54. ábra. Az M-1101 típusú megohmmérő *(a)* és kapcsolása *(b)*

mok egymáshoz viszonyított értéke megváltozik, ebben az esetben ugyanis a mozgórendszer az inhomogén térben elfordul. (Inhomogénnek az olyan erőteret nevezik, amelyben a térerősség a tér különböző pontjaiban nem azonos nagyságú és irányú.) Az elfordulás mindaddig tart, amíg a nyomatékok újabb egyenlősége létre nem jön. Az áramarányok viszonyának változására a keretekben kizárólag az R_x ellenállás értéke hat.

A megohmmérő mérőszervének sajátossága, hogy hiányzik a műszermutatót a skála nullapontjára állító rugó, ezért álló (nem gerjesztett) generátor esetén a műszer mutatója a skála bármelyik helyén állhat. A mérés megkezdése előtt minden alkalommal ellenőrizni kell a megohmmérő üzemképességét. Ennek érdekében rövidrezárják az *L* és *Z* kapcsokat és névleges (tehát mintegy 120/min) fordulatszámmal forgatják a generátor hajtókarját. Ilyenkor a műszer mutatójának a nulla jelre kell beállnia. Ha a mutató nem állna a 0 skálaosztásra, a műszer mágneses söntjének mozgatásával állítjuk rá. A mágneses söntöt a műszer homloklapján levő forgatógombbal lehet elmozgatni. Az *L* és *Z* kapcsok nyitása után a mutató a skála ∞ jeléhez áll be. Szokásos mérőfeszültségek: 500, 1000, 2500, 5000 V.

Feszültségvizsgálók (feszültségjelzők)

1000 V-nál nagyobb feszültségű berendezésekben a fázisazonosság kétpólusú feszültségjelzővel is meghatározható. A jelző készletébe rendszerint maga a feszültségjelző rúd, a kiegészítő ellenállást tartalmazó tapintórúd és az azokat összekapcsoló vezeték tartozik. Az 55. ábra bemutatja a Moszenergo CVL által kidolgozott UVNF típusú, kétpólusú feszültségvizsgáló képét és villamos kapcsolási vázlatát. A készülék 10 kV feszültségig alkalmas a berendezések fázisegyeztetésére. Az *1* feszültségjelző tartalmazza (a rúd szigetelőanyagból készül) TNUV típusú 7 jelzőlámpát és a sönt-, valamint a három kiegészítő POV–15 típusú *8* polisztirol kondenzátort, egyenként 15 kV üzemi feszültségre. A *2* tapintórúdban 10 db hőálló, MLT–2 típusú ellenállás van: összellenállásuk 8...10 MΩ.



55. ábra. Kétpólusú feszültségvizsgáló *(a)* és kapcsolása *(b)*

A két rúd csúcsán levő 3 fémérintkező (tapintóvég) egymással PVL–1 típusú, 20 kV-os *4* vezetékkel van sorbakötve. Az *5* rudak alsó részein körgallérral ellátott *6* fogórészek találhatók. Természetesen az *5* és *6* rúdrész szigetelőanyagból készül.

A fázisazonosításkor (fázisegyeztetéskor) a kikapcsolt készülékre (szakaszoló, megszakító) mindkét oldalról rákapcsolják azt a feszültséget, amelynek fázishelyzetét meg kívánják állapítani. A feszültségvizsgáló tapintóvégeit ráhelyezik a készülék áramvezető részeire, és megfigyelik, hogy kigyullad-e a jelzőlámpa. Ilyenkor a feszültségvizsgáló kapcsolásának két esete lehetséges: ellenkapcsolás amikor is különböző fázisokat érintenek meg – ekkor a lámpa fényesen világít, jelezve a fázisok különbözőségét; a másik eset az azonos fázisra történő kapcsolás. Ilyen esetben a lámpa nem világít. A lámpa világításának hiánya mutatja a fázisok közvetlen összekapcsolási, ill. a készülék bekapcsolási lehetőségét.

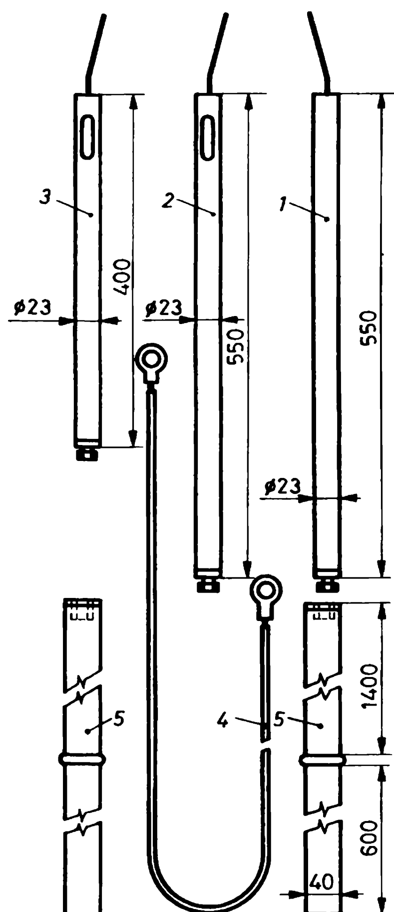
A villamos berendezésekben alkalmazott védőeszközök használati és vizsgálati szabályai előírják a feszültségvizsgáló jelzőlámpájának ún. kigyulladási küszöbét ellen- vagy azonos fázisra kapcsolás esetén. Kigyulladási küszöb alatt a tapintókra jutó minimális feszültséget értjük, amelynél a jelzőlámpa tartósan látható fénnyel világít. Kigyulladási küszöbértékek a következők:

– Vizsgált fázisfeszültség	6 kV	10 kV.
– Maximális kigyulladási feszültség különböző fázisokra kapcsolás esetén	1500 V	2750 V.
– Minimális kigyulladási feszültség azonos fázisra való kapcsolás esetén	7600 V	12 700 V.

Bár az első pillanatban ellentmondásosnak tűnik, hogy a lámpa a tapogató mindkét érintkezőjének azonos fázishoz való érintésekor világít, valójában nem az. A jelenség a feszültségvizsgáló különböző elemeinek a földelt szerkezetekhez viszonyított villamos kapacitásával, ill. annak hatásával magyarázható: a kapacitásokon átfolyó áram hatására világítanak a lámpák. Annak érdekében, hogy a fázissorrend meghatározásakor elkerüljük a hibákat, a feszültségvizsgáló gyújtófeszültségének fázisazonosság esetén nagyobbnak kell lennie, mint annak az üzemi feszültségnek, amelyen a fázissorrend meghatározása történik.

Különböző fázisra történő kapcsolás esetén a gyulladási küszöb jellemzi a feszültségvizsgáló érzékenységét. Minél kisebb a lámpa

gyújtófeszültsége, annál érzékenyebb a készülék. A nagy érzékenységű feszültségvizsgálók nem alkalmasak a fázissorrend meghatározására, ugyanis az azonos nemű fázisok közötti feszültségkülönbség elérheti az üzemi feszültség értékének 8...10%-át is. Következésképpen ellenkapcsolásban a gyújtófeszültségnek kissé nagyobbnak kell lennie az említett feszültségtől. Gyakorlatilag ez 1000...1500 V.



56. ábra. Feszültségvizsgáló a 35...110 kV feszültségen üzemelő berendezések fázissorrendjének meghatározására

Az UVNF típusú feszültségvizsgáló teljes hossza összeszerelt állapotban 715 mm, vizsgálórészének hossza 350 mm. A tapasztalat bizonyítja, hogy az ilyen feszültségvizsgáló vizsgálórészének mérete a 6...10 kV feszültségű szabadvezeték fázissorrendjének meghatározásához történő alkalmazásakor nem biztosítja a veszélytelen munkafeltételeket. A feszültségvizsgáló munkarészének hossza gyakorlatilag megegyezik a szakaszoló földelt alapkerete feletti áramvezető rész hosszával, ezért a rudak acélszerkezethez való közelítésekor földzárlat keletkezhet. Ezért az oszlopkapcsolóknál végzendő fázisegyeztetéshez olyan feszültségvizsgálót dolgoztak ki, amelynek munkahossza, valamint a kiegészítő ellenállást is magába foglaló cső hossza 700 mm, a feszültségvizsgáló teljes hossza pedig 14400 mm.

35 és 40 kV feszültségen történő fázishelyzet meghatározásához a Moszenergo kidolgozta az UVNF–35–110 típusú feszültségvizsgálót. Ennek szerkezete hasonló az UVNF vizsgálószerkezetéhez.

A készülék szerkezeti sajátossága a POV–15 típusjelző polisztirol kondenzátorok alkalmazása. Ezekkel helyettesítik az ellenállásokat. A kondenzátorok paramétereit úgy választották meg, hogy a vizsgáló azonos fázisra kapcsolás esetén ne legyen érzékeny a földhöz viszonyított fázisfeszültségre. Ez a megoldás azt eredményezte, hogy a feszültségvizsgáló biztosan megkülönbözteti az azonos, ill. a különböző fázisokat.

A kétpólusú feszültségvizsgáló készlet (56. ábra) egy ún. „közös" *1* tapintórúdból és két (*2* és *3*), azonos szerkezeti felépítésű, de különböző hosszúságú feszültségvizsgálóból áll. A feszültségvizsgáló és a tapintórúd menetesen csatlakozik az *5* fogantyúhoz. A készletben levő közös tapogatórudat a (2) házzal kiegészített fogantyúval együtt a 110 kV feszültségű, a (3) házzal együtt a 35 kV feszültségű berendezések fázishelyzetének meghatározására használják.

A (4) összekötő vezeték szigetelése meg van erősítve. Az (5) fogantyút úgy méretezték, hogy alkalmasak legyenek a munkavégzésre 110 kV-ig.

11. ELŐZETES FÁZISAZONOSÍTÁS (A FÁZISSORREND ELLENŐRZÉSE)

Gyakran a fázissorrend vagy -helyzet meghatározására már a berendezés szerelése vagy javítása előtt szükség van, de új vagy javításból kikerült berendezések első bekapcsolásakor – amennyiben a javításkor a fázisok helyei felcserélődhettek – a fázisegyeztetés nem mellőzhető. Így, ha sérült kábel javításakor az áramvezető ereket tetszőlegesen kötik össze, akkor ez megzavarhatja a fázissorrendet, és ez arra vezethet, hogy végelzáróknál az ereket fel kell cserélni vagy a sínrendszert át kell alakítani. Világos, hogy mindkét művelet nemcsak hogy nem kívánatos, de gyakran nem is kivitelezhető, ezért az erek összekötése előtt ellenőrizni kell a fázisok azonosságát. Az előzetes fázisegyeztetést feszültségmentes berendezésen végzik el. A berendezések alapvető fajtáinál a fázisazonosítást szemrevételezéssel, csengetéssel vagy szigetelésvizsgáló (megger) segítségével végzik el.

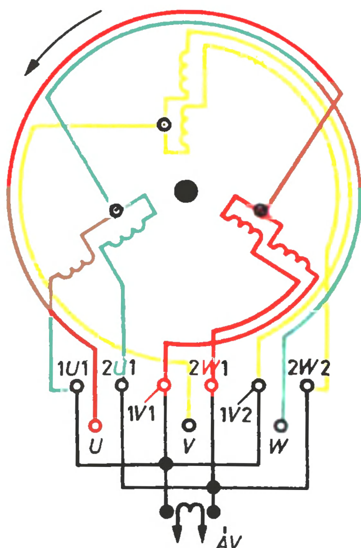
Az üzembe helyezés előtti fázisazonosítást kizárólag villamos módszerekkel végzik. A módszer kiválasztása a berendezés fajtájától (transzformátor, motor, vonal) és az üzemi feszültség nagyságától függ. Közvetlennek az olyan vizsgálati módszereket nevezik, amelyeknél a fázisazonosítás a berendezés (készülék) bemeneti kapcsain közvetlen üzemi feszültségen történik. Ezek a módszerek igen szemléletesek (áttekinthetők) és széles körben alkalmazzák 110 kV-ig.

Közvetettnek azokat az azonosítási módszereket nevezik, amelyeknél az azonosítás nem a berendezés üzemi feszültségén, hanem a mérőtranszformátorok szekunder feszültségén történik. A közvetett módszer kevésbé szemléletes, de alkalmazhatósága független a berendezés üzemi feszültségétől.

A generátor fázissorrendjének ellenőrzése

A váltakozóáramú villamos gépek tekercseit fázisonként egy tekercscsel (egyágúként) vagy osztott tekercsekkel (fázisonként két párhuzamosan kapcsolt tekerccsel) alakítják ki. A tekercsek kivezetését az MSZ 152 szerint jelölik. Az állórész egyszerű tekercseinek elejét *U*1, *V*1, *W*1 betűkkel, végeit pedig értelemszerűen *U*2, *V*2, *W*2 betűkkel jelölik. Az osztott tekercsek kivezetéseit ugyanazokkal a betűkkel jelölik, mint az egyszerű tekercsek kivezetéseit, de a betűk elé helyezik a számokat. Így pl., amennyiben az állórész fázisonként két tekercsből áll, akkor az első tekercs kivezetéseinek jelölése: 1*U*1–1*U*2, 1*V*1–1*V*2, 1*W*1–1*W*2, a második tekercsrész kivezetéseinek jelölése pedig: 2*U*1–2*U*2, 2*V*1–2*V*2, 2*W*1–2*W*2.

A hálózatra kapcsolt kivezetéseket vonali kivezetéseknek, az egymással csillagba kapcsolt kivezetéseket pedig nullakivezetéseknek nevezik. A fázisonként egy tekerccsel épített generátorok vonalkapcsait *U*1, *V*1, *W*1-gyel jelölik, a nagyteljesítményű, fázisonként párhuzamosan kapcsolt tekercsek kivezetéseinek jele: 1*U*2, 1*V*2, 1*W*2.



57. ábra. TVF–100 2 típusú turbógenerátoros állórész tekercselésének kapcsolása a gerjesztő felőli oldalról nézve

Ebben az esetben az 1U1, 1V1, 1W1 és 2U1, 2V1, 2W1 kapcsokat közösítik és kivezetik (N-kapocs). Az 57. ábrán látható a TVF–100–2 típusú turbógenerátor állórésztekercsének vázlata. A tekercselésnek kilenc kivezetése van – három vonali és hat nulla kivezetése. Az 1U1, 1V1, 1W2 és a 2U1, 2V1, 2W1 tekercsvégeket szintén a kapocstáblára vezetik ki. Ezeket a kivezetéseket sínezéssel kötik össze. Az így kapott két újabb kivezetésre áramváltót kapcsolnak. Az áramváltóhoz csatlakoztatják a keresztirányú különbözeti védelmet, amelynek feladata az állórésztekercs fázisainak menetzárlati védelme. A csillagpontokat áthidaló sín köti össze a rajta elhelyezett áramváltóval, amelynek rendeltetése az állórész fázistekercsei egyikében a menetek közötti esetleges rövidzárlat elleni differenciált áramvédelem. A generátor fázishelyzetének meghatározásához ismerni kell a vonali kivezetéseket.

A generátor fázissorrendje a forgórész forgásirányától és az állórész tekercselésének térbeli elrendezésétől függ. A forgórész forgásirányát a turbinalapátok elhelyezése határozza meg, a fázisok elrendezését viszont szemrevételezéssel lehet megállapítani, amikor a szerelés alatt álló generátor állórésze már az alapon van. E célból az állórész

5. táblázat

A generátortekercsek kivezetési sorrendje	A generátorkivezetések és a hálózat összekapcsolási lehetőségei, ha a hálózat fázissorrendje: *R–S–T*		
	1	2	3
U1–V1–W1	*U1–R*	*U1–S*	*U1–T*
	V1–S	*V1–T*	*V1–R*
	W1–T	*W1–R*	*W1–S*
U1 W1–V1	*U1–R*	*U1–T*	*V1–S*
	V1–T	*V1–S*	*V1–R*
	W1–S	*W1–R*	*W1–T*
U2–V2–W2	*U2–R*	*U2–S*	*U2–T*
	V2–S	*V2–T*	*V2–R*
	W2–T	*W2–R*	*W2 S*
U2–W2–V2	*U2–R*	*U2 T*	*U2–S*
	V2–T	*V2–S*	*V2–R*
	W2–S	*W2–R*	*W2–T*

három tekercsének a hornyokra való belépési helyeit végigkövetve meghatározzák a vonali kivezetéseket. Ha tehát a forgórész forgási irányában történik a követés, az állórész kerületén levő tekercssorrend határozza meg a tekercsek tényleges fázissorrendjét.

Az összekötősínek generátorhoz való csatlakoztatását és színezésüket a generátor és a hálózat meghatározott fázissorrendjének függvényében végzik el. Ebben az esetben a szerelés alatt álló generátor lehetséges bekötési változatait az 5. táblázat tartalmazza.

Megjegyezzük, hogy a generátor valamennyi bekötési módja egyenértékű, és az egyes változatok kiválasztását kizárólag az erőművi gyűjtősínrendszerhez való csatlakozás egyszerűsége dönti el. Ha a hálózat fázissorrendje nem a megszokott (*R*, *S*, *T*), hanem attól eltérő (pl. *R*, *T*, *S*), akkor az 5. táblázatban az *S* és *T* betűk helyeit meg kell cserélni.

A szinkron kompenzátor fázissorrendjének ellenőrzése

Az ellenőrzést az állórész szerelése közben, levett fedéllemezek mellett végzik, a generátor fázissorrendjének meghatározására fentebb leírt módszerhez hasonlóan. Az ellenőrzés arra irányul, hogy a fázisok cserélődése az állórész vezetésein megfelel-e a forgórész megadott forgásirányának. Ez fontos a csapágyakban levő olaj normális áramlásának biztosításához. A szinkron kompenzátor kivezetéseinek a hálózati fázisokhoz való bekötésekor a generátoroknál leírt elveket kell alkalmazni.

Erőátviteli transzformátorok

Az MSZ 9230 előírásainak megfelelően a háromfázisú transzformátor kapcsainak sorrendje (balról jobbra) a nagyobb feszültségű oldalról nézve:

$N–A–B–C$,

$n–a–b–c$;

az egyfázisú transzformátoroknál pedig:

$E–F$,

$e–f$.

Annak nyomon követése, hogy helyesen csatlakoznak-e a tekercsvégek a jelzett kapcsokra, a transzformátor megbontása nélkül lehetetlennek tűnik. Ezért a transzformátorok kapocsjelölésének helyességét csak a kapcsolási csoportok vizsgálatánál állapítják meg, amelyet a transzformátorok gyártásakor vagy felújításakor, részleges vagy teljes tekercscsere alkalmával.

Vezetékek

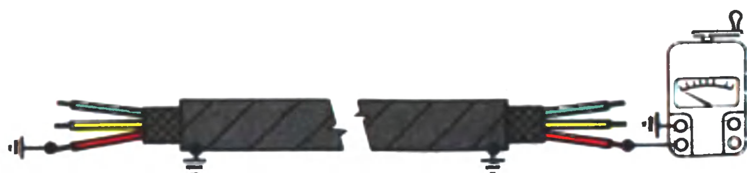
Új villamos erőátviteli *szabadvezetéket* olyan tervdokumentáció alapján létesítenek, amely többek között tartalmazza a hálózat háromvonalas kapcsolását (annak teljes hosszúságában), a vezetékek fáziscseréjének helyét és az előzetesen meghatározott fázisszíneket. Ezen a terven a vezetékek elhelyezkedését a kapu alakú portáloszlopokon olyan sorrendben írják elő, amely biztosítja a vonali fázisok és a transzformátorállomás berendezéseinek megfelelő fázisainak egybeesését. Különös jelentősége van ennek a meglevő állomások közötti új hálózat kialakításakor. A vezetők fáziscseréjét ebben az esetben a berendezés tényleges elhelyezését és a hálózat mindkét végén levő portáloszlop fáziscserélődési sorrendjét figyelembe véve kell kialakítani.

A *kábelvégeken* az áramvezető erek sorrendjét legegyszerűbben telefonkagylók segítségével állapítják meg (pl. az állomások és alállomások különböző helyiségei között fektetendő erőátviteli kábelek ellenőrzésekor).

A telefonhallgatóknak a vizsgált kábelszakaszra való rákapcsolását az 58. ábra szemlélteti. A kapcsolatteremtéshez egyik (közös) vezetőként földelt szerkezeti elemet (pl. a kábel földelt fémburkolatát) használják. A kábel egyik oldalán a telepről jövő vezetéket rákötik az egyik áramvezető érre (pl. a *T* fázisra). A kábel másik oldalán a hallgató szabad vezetékével sorra megérintik az áramvezető ereket minden egyes esetben hangjelzést hallatva. Megtalálva azt az eret, amelyen megkapják az ellenőrző válaszát, azt megjelölik (jelen esetben mint *T* fázist), majd ugyanilyen módon folytatják a többi ér azonosítását. Ezt követően az információt vevő személy visszajelzi a kapott jeleket. A telefonkagylók helyett az utóbbi időkben olyan berendezést használnak, amelyek nem kötik le az ellenőrzést végző kezét a munka közben.



58. ábra. Kábelérazonosítás telefon segítségével

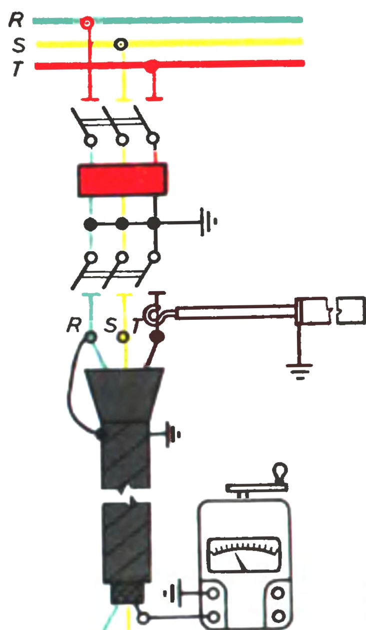


59. ábra. Kábelérazonosítás megohmmérő segítségével

A fázis azonosításakor eléggé széles körben használják a megohmmérőt, amelynek csatlakoztatási vázlatát az 59. ábra szemlélteti. A fázishelyzet meghatározásához egymás után leföldelik az ereket a kábel elején, a végén pedig mérik az erek szigetelési rezisztenciáját a földhöz képest.

A földelt eret a megohmmérő állásából állapítják meg, ugyanis annak földhöz viszonyított szigetelési rezisztenciája nullával lesz egyenlő, a másik kettőé pedig több tíz, sőt több száz MΩ-mal.

Ilyen ellenőrzési módnál háromszor helyezik el, ill. veszik le a földelést. Ezenkívül a kábelvégeken levő személyzetnek egymással valamilyen módon (pl. távbeszélőn) összeköttetésben kell lennie, hogy tevékenységüket koordinálhassák. Tökéletesebb a 60. ábrán bemutatott vázlat szerinti mérési módszer. A három kábelér egyikét (jelen esetben az *R* fázist) mereven összekapcsolják a földelt páncélozással, a másik, a *T* fázist 8...10 MΩ rezisztenciájú ellenálláson keresztül földelik. Általában ellenállásként az UVNF feszültségvizsgáló kap-



60. ábra. Kábelérazonosítás megohmmérővel a kiegészítő ellenállás alkalmazása esetén

csolórúdját használják. A harmadik eret (*S* fázist) nem földelik le, az szabadon marad. Ezt követően a kábel másik végén lemérik az erek földhöz viszonyított rezisztenciáját. Teljesen világos, hogy az *R* fázis annak az érnek fog megfelelni, amelynek rezisztenciája a földhöz képest nulla, a *T* fázis annak az érnek, amelynek 8...10 MΩ és az *S* fázis pedig annak az érnek, amelyé végtelenül nagy.

Balesetelhárítási feltételek a kábelek fázishelyzetének meghatározásakor. A fázisegyeztetést az előbbiekben leírt módon csak feszültségmentes kábelvonalon szabad végezni. Ilyenkor meg kell tenni a szükséges intézkedéseket, hogy a kábelre üzemi feszültség ne kerülhessen. A szigetelésvizsgáló segítségével történő fázisegyeztetésnél a kábel közelében tartózkodó egész személyzet figyelmét fel kell hívni, hogy ne érintsék a kábel ereit.

Az áramvezető erekhez csak azután csatlakoztathatók, ha a kábelt már kisütötték. A maradék töltés eltávolítására a kábelt 2–3 percre leföldelik.

Az erőátviteli kábelek egyes ereit az azonosítás megkönnyítésére már a gyártási folyamatban színekkel is jelölik. Az impregnált papírszigetelésű erőátviteli kábelek ereinek egyike vörös, a másik kék, a harmadik a kábelpapír természetes színe. Négyerű impregnált papírszigetelésű, 0,6/1 kV feszültségű kábeleknél a negyedik ér színe: zöld/természetes színű papír. Az MSZ 146/3 szerint gyártott PVC-szigetelésű, 0,6/1 kV-os kábel ereinek színei: a PVC természetes színe, vörös (vagy zöld/sárga), kék, fekete. A 3,6/6 kV-os és ennél nagyobb feszültségű és ennél nagyobb névleges feszültségű, valamint az erenként árnyékolt kábeleken (pl. a SzAQKvKVM-) színjeleket nem használnak. Színnel jelölt kábelerek esetében a fázishelyzet biztosítása általában egyszerű, ha az a karmantyúnál szükséges. Mindössze abból áll, hogy a hat érből kiválasztják az azonos színű párokat. Ezeket az ereket megjelölik és összekötésre előkészítik. Szerelési okokból sokszor célszerűbb a karmantyúkat „vakon” összekötni és a fázishelyzetet a végelzárók szerelésekor azonosítani.

12. A FÁZISHELYZET MEGHATÁROZÁSÁNAK KÖZVETLEN MÓDSZEREI

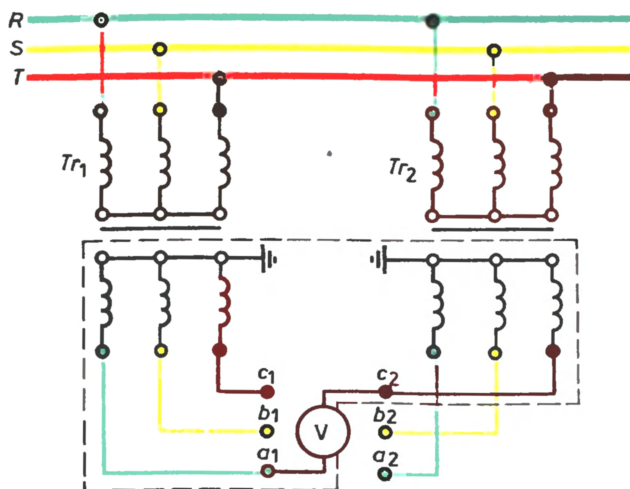
Transzformátorok

Ezzel a módszerrel (61. ábra) azonosítják az Yy_0 kapcsolású erőátviteli transzformátorok fázishelyzetét. Ugyanezt a módszert alkalmazzák olyan feszültségváltók esetén, amelyeknek szekunder tekercsének csillagpontja le van földelve. A fázisegyeztetést a kisebb feszültségű tekercs oldaláról voltmérő segítségével végzik. A voltmérő méréshatára legalább kétszeres fázisfeszültségű legyen, ugyanis ilyen feszültség megjelenése a transzformátorok kapcsai között nincs kizárva.

A vizsgálat megkezdése előtt a szekunder tekercsek csillagpontjait leföldelik vagy összekötik a közös nullavezetővel. A csillagpontok egyesítésére szükség van a két transzformátor közötti villamos kapcsolat megteremtéséhez.

Mielőtt elkezdenénk a fázishelyzet meghatározását, ellenőrizni kell a transzformátorok feszültségének szimmetrikusságát. A transzformátor primer oldalára U_1 feszültséget kapcsolunk, amelynek értéke nem lehet nagyobb, mint a névleges szekunder feszültség (400 V). A voltmérőt egymás után hozzákapcsolják az a_1–b_1; b_1–c_1; c_1–a_1; a_2–b_2; b_2–c_2; c_2–a_2 kapcsokhoz. Ha a mért feszültségértékek lényegesen különböznek egymástól, ellenőrzik mindkét transzformátor megcsapolását, ill. az átkapcsoló helyzetét. A fázisazonosítás akkor folytatható tovább, ha a feszültségkülönbség nem haladja meg a 10%-ot. Definíció szerint ez nem közvetlen módszer, mivel nem a névleges feszültségen végzik.

A felsorolt műveletek elvégzése után kezdődik meg a tulajdonképpeni fázisazonosítás. A vizsgálat lényegében arra irányul, hogy megkeressük azokat a kapcsokat, amelyek között a feszültségkülönbség nulla. Ennek érdekében a voltmérő vezetékét hozzácsatlakoztat-



61. ábra. Földelt szekunder csillagpontú transzformátorok fázisforgatásának ellenőrzése
(a szaggatott vonal a műszeren átfolyó áram irányát mutatja)

ják az egyik transzformátor tetszés szerint kiválasztott kapcsához, a másik vezetővel pedig sorra megérintik a másik transzformátor három kapcsát (pl. megmérik a feszültséget az a_1–a_2; a_1–b_2; a_1–c_2 kimenetek között). A fázisazonosítás további menete a kapott eredményektől függ. Ha az egyik mérés során (mondjuk az a_1–a_2 kapcsok között) a voltmérő állása nulla, akkor ezeket a kapcsokat megjelölik, a voltmérőt pedig hozzákapcsolják az első transzformátor másik szekunder kapcsához és megmérik a feszültséget a b_1–b_2 és a b_1–c_2 kapcsok között is. Amennyiben a voltmérő egyik mérése (pl. a b_1–b_2 között) szintén nulla, akkor a fázishelyzet meghatározását befejezettnek lehet tekinteni. Különösebb szükség nincs arra, hogy a c_1–c_2 kapcsok között feszültséget mérjenek, ugyanis a voltmérő két nulla állása esetén (a_1–a_2 és b_1–b_2) a harmadik fázispár közötti feszültségnek természetesen nullának kell lennie (62*a* ábra). Azonban a fázisok egybeesését bizonyító eredmények igazolásaként mégis elvégzik a c_1–c_2 közötti feszültségmérést. Azokat a kapcsokat, amelyek között nem volt feszültségkülönbség, a transzformátorok párhuzamos üzemeltetése esetén összekapcsolják. A kapcsolókészüléknél az ilyen kapcsoknak közvetlenül egymással szemben kell lenniük.

Ha az (a_1-a_2; a_1-b_2; a_1-c_2; b_1-a_2; b_1-b_2; b_1-c_2) kivezetések ellenőrzése során különböző nagyságú feszültségek jelennek meg, akkor ez azt jelenti, hogy a transzformátorok különböző kapcsolási csoportokhoz tartoznak és azok párhuzamosan nem kapcsolhatók. Ilyenkor a fázishelyzet meghatározását abbahagyják. A mért értékekből vektordiagram szerkesztésével megállapítják a transzformátor fázisforgatási szögét és abból állapítják meg, hogy a transzformátorok párhuzamos üzeméhez milyen átkötéseket lehet, ill. kell elvégezni.

Két jellemző eset nagyon gyakori. Közülük az egyikben:

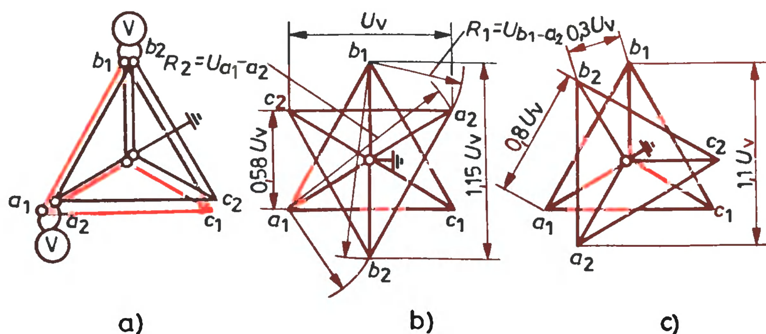
$$U_{a_1-a_2}=1{,}15U_1; \quad U_{a_1-b_2}=0{,}58U_1; \quad U_{a_1-c_2}=0{,}58U_1;$$

$$U_{b_1-a_2}=0{,}58U_1; \quad U_{b_1-b_2}=1{,}15U_1; \quad U_{b_1-c_2}=0{,}58U_1;$$

ahol U_1 a vizsgálófeszültség.

Az erre az esetre tipikus vektordiagramot a 62*b* ábra mutatja be. Az ábrából látható, hogy a szekunder feszültségvektorai 180°-kal elfordultak, az a_1-a_2 kapcsok közötti feszültség pedig a fázisfeszültség kétszeresével egyenlő:

$$U_{a_1-a_2} = 2U_f = \frac{2}{\sqrt{3}U_1} = 1{,}15U_1.$$



62. ábra. A transzformátorok kisfeszültségű tekercseinek feszültségei fázisegybeesés esetén (*a*); 180° eltolódás esetén: pl. Dy 11 és Dy 5 kapcsolási csoportok (*b*); 30° eltolódás esetén pl. Yy 0 és Dy 11 kapcsolási csoportok (*c*)

Ha mindkét transzformátor kapcsolási csoportja páratlan, akkor párhuzamos üzemeltetésükhöz közülük az egyik nagy- és kisfeszültségű tekercs kapcsain a síneket át kell kapcsolni, azaz elvégezni a fázisok kettős átjelölését. A páros csoportú transzformátoroknál (valamint a páros 0 csoportúaknál) a tekercsek belső átkapcsolása szükséges.

A második esetben:

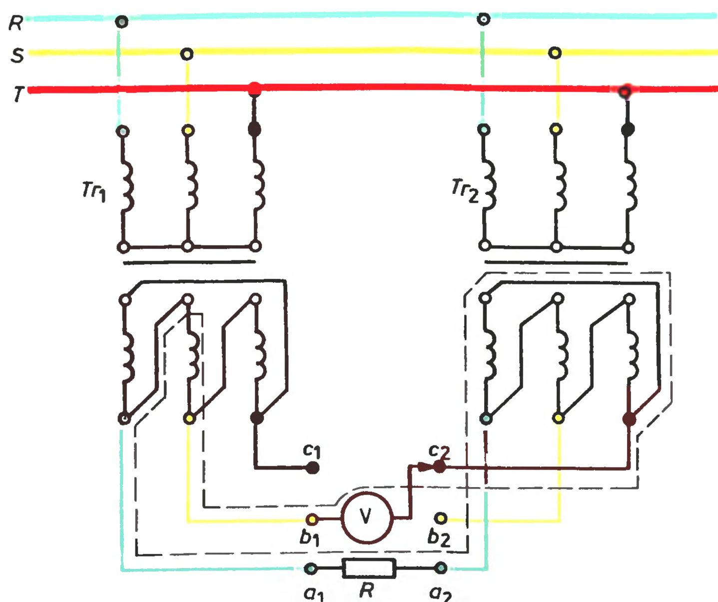
$U_{a_1-a_2}=0{,}3U_1$; $U_{a_1-b_2}=0{,}8U_1$;

$U_{a_1-c_2}=1{,}1U_1$; $U_{b_1-a_2}=1{,}1U_1$;

$U_{b_1-b_2}=0{,}3U_1$; $U_{b_1-c_2}=0{,}8U_1$.

A tipikus vektordiagramon (62*c* ábra) a feszültségvektorok 30°-kal el vannak tolva. Ilyen eltolódási szöge lehet a páros (vagy nulla) és páratlan kapcsolási csoportú transzformátoroknak. Az ilyen transzformátorok párhuzamos kapcsolása nem végezhető el semmilyen körülmények között. A vektordiagramok szerkesztési technikáját a 62*b* ábra szemlélteti. Az első transzformátor vonali feszültségeinek vektorháromszögét tetszőlegesen szerkesztik. A második háromszög csúcspontjait pedig az a_1-a_2 és b_1-a_2; a_1-b_2 és b_1-b_2 kapcsok közötti feszültségekkel számszerint egyenlő sugarak metszésével szerkesztik ki.

A 63. ábra szerinti módszert olyan Yd kapcsolású transzformátorok fázishelyzetének meghatározásánál alkalmazzák, amelyek szekunder tekercseinek csillagpontja nincs kivezetve, kisfeszültségű tekercse max. 400 V és a két szekunder kapcsot ellenállással áthidalják. A fázishelyzet meghatározását a kisfeszültségű oldalon végzik voltmérővel. A transzformátorok feszültség alá helyezése előtt szigetelésvizsgálóval ellenőrzik a szekunder tekercsek szigetelésének ellenállását a földhöz képest. A tekercseknek nem szabad semmilyen kapcsolatban lenniük a földdel, ugyanis a tekercskivezetések áthidalásakor a kettős földzárás rövidzárlathoz vezethet. Az ellenállásokat (lehetőleg 3...5 kΩ ellenállással) egy és ugyanazon transzformátor két tetszőleges kapcsa között helyezik el (63. ábra). Ennek jelenléte nem jelent semmilyen veszélyt a transzformátorokra, mivel ilyenkor nem jön létre a rövidzárlati áram áthaladásához szükséges zárt áramkör. Zárt áramkör a voltmérő bekapcsolásával jön létre, amelynek – mint ismeretes – néhány kΩ nagyságrendű ellenállása van, és a rajta átmenő áram jelentéktelenül kicsi.



63. ábra. Kapcsolás Yd transzformátorok fázisegyeztetéséhez

A fázishelyzet meghatározásához a transzformátorokat a nagyfeszültségű oldalról helyezik feszültség (U_1) alá, majd ezt követően a transzformátorok kisfeszültségű kapcsain feszültségmérővel ellenőrzik a fázishelyzet meghatározásához odavezetett feszültségek szimmetriáját. Összesen hat mérést végeznek el.

A fázisegyeztetést két ütemben végzik. Először lemérik az első transzformátor szabad végeinek egyike és a másik transzformátor másik két kimenete közötti feszültséget, pl. a b_1–b_2 és b_1–c_2 kapcsok között. Ezután lemérik a feszültséget a második szabad kapocs és a második transzformátor ugyanazon kapcsai között (c_1–b_2 és c_1–c_2). A mérések adata attól függ, hogy melyik kapocspár közé van helyezve a híd. Az elhelyezésére három alternatíva lehetséges: a_1–a_2; b_1–a_2; c_1–a_2. Ezen alternatívák mindegyikéhez azonos transzformátorkapcsolási csoportok esetén a következő voltmérőállások tartoznak:

Össze-kapcsolandó kapcsok	a_1-a_2	b_1-a_2	c_1-a_2
Kapcsok közötti feszültség	$U_{b_1-b_2}=0$ $U_{b_1-c_2}=U_1$ $U_{c_1-b_2}=U_1$ $U_{c_1-c_2}=0$	$U_{a_1-b_2}=2U_1$ $U_{a_1-c_2}=1{,}73U_1$ $U_{c_1-b_2}=1{,}73U_1$ $U_{c_1-c_2}=U_1$	$U_{a_1-b_2}=1{,}73U_1$ $U_{a_1-c_2}=2U_1$ $U_{b_1-b_2}=U_1$ $U_{b_1-c_2}=1{,}73U_1$

Az ilyen adatok alapján szerkesztett kisebb feszültségű tekercsek feszültségdiagramját a 64. ábra mutatja be. A 64*a* ábrából közvetlenül következik, hogy a transzformátorok azonos kapcsolási csoportúak és azok párhuzamosan kapcsolhatók az a_1 és a_2; b_1 és b_2; c_1 és c_2 kapcsok egymás közötti kapcsolásakor. A két másik vektordiagramot (64*b* és *c* ábrák) ugyanezekre a transzformátorokra szerkesztették, így ezzel is lehetővé teszik az ilyen következtetés elvonását. A fázishelyzet meghatározását általában befejezik azzal, hogy megkapják a három mérési alternatíva egyikét és megszerkesztették a 64*a*, *b*, *c* ábrán láthatóhoz hasonló vektordiagramot.

Megjegyezzük, hogy a fázishellyzet meghatározásának ezen esetére (azonos nemű a_1-a_2 kivezetések kapcsolási alternatívája) jellemző a voltmérő két nulla állása minden mérési fogásnál. Azonban itt kell megállapodnunk, hogy két nulla értéket különböző kapcsolási csoportok esetén is kaphatunk, amikor a feszültségvektorok 240°-ra el vannak tolva. Azonban ilyenkor a híddal a c_1 és a_2 kapcsokat kell összekapcsolni:

64. ábra. A feszültségek lehetséges vektorhelyzete fázisegyeztetéskor
a), b), c) azonos kapcsolási csoportok esetén;
d), e), f) a vektorok 240°-os eltolódásakor;
g), h), i) ugyanaz 330° esetén;
j), k), l) ugyanaz 60° esetén

Rövidrezárt kivezetések		
$a_1 - a_2$	$b_1 - a_2$	$c_1 - a_2$
a)	b)	c)
d)	e)	f)
g)	h)	i)
j)	k)	l)

Összekapcsolandó kapcsok	a_1-a_2	b_1-a_2	c_1-a_2
Kapcsok közötti feszültség	$U_{b_1-b_2}=1{,}73U_1$	$U_{a_1-b_2}=U_1$	$U_{a_1-b_2}=0$
	$U_{b_1-c_2}=U_1$	$U_{a_1-c_2}=1{,}73U_1$	$U_{a_1-c_2}=U_1$
	$U_{c_1-b_2}=2U_1$	$U_{c_1-b_2}=1{,}73U_1$	$U_{b_1-b_2}=U_1$
	$U_{c_1-c_2}=1{,}73U_1$	$U_{c_1-c_2}=2U_1$	$U_{b_1-c_2}=0$

A 64*d*, *e*, *f* ábrán bemutatjuk a vektordiagramokat. Az ilyen transzformátorok párhuzamos kapcsolása csak a transzformátorhoz vezető sínek átkapcsolása után lehetséges, azaz a fázisok ciklikus átjelölése után.

A transzformátorok párhuzamos kapcsolásának lehetetlenségét bizonyítják a voltmérők olyan állásai, amikor a híd elhelyezésének mind a három alternatívájában nem jön létre egyetlenegy nulla helyzet sem, pl.:

Összekapcsolandó kapcsok	a_1-a_2	b_1-a_2	c_1-a_2
Kapcsok közötti feszültség	$U_{b_1-b_2}=0{,}5U_1$	$U_{a_1-b_2}=1{,}9U_1$	$U_{a_1-b_2}=1{,}4U_1$
	$U_{b_1-c_2}=0{,}5U_1$	$U_{a_1-c_2}=1{,}9U_1$	$U_{a_1-c_2}=1{,}9U_1$
	$U_{c_1-b_2}=1{,}4U_1$	$U_{c_1-b_2}=1{,}9U_1$	$U_{b_1-b_2}=0{,}5U_1$
	$U_{c_1-c_2}=0{,}5U_1$	$U_{c_1-c_2}=1{,}4U_1$	$U_{b_1-c_2}=1{,}4U_1$

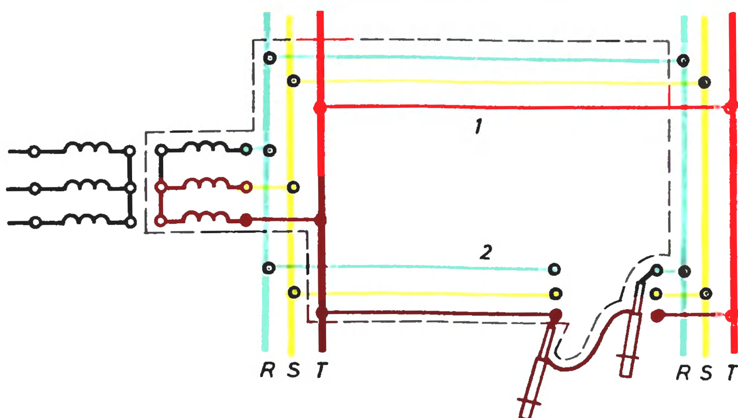
A 64*g*, *h*, *i* ábrán látható és ugyanerre az esetre szerkesztett vektordiagramokból kitűnik, hogy a vonalfeszültség-vektorok 30° szögben eltoltak. Ilyen szöget kapunk, ha a transzformátorok a páratlan és páros (vagy 0) kapcsolási csoporthoz tartoznak, pl. Yy 0 és Yd 11 csoportokhoz, ezek párhuzamos kapcsolása pedig lehetetlen.

Ha a fázishelyzet meghatározásának folyamatában a hídelhelyezés három alternatívája közül kettőben egyenként nulla eredményt kapnak, akkor ez a párhuzamos kapcsolás lehetőségét jelenti, de csak a sémán végzett bizonyos változtatás után.

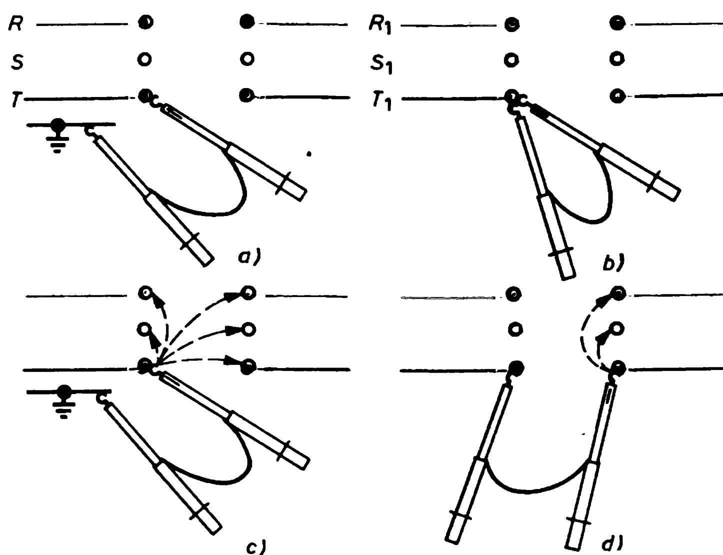
A páratlan csoportú transzformátoroknál, ahol a szekunder feszültség vektorának eltolódása 60° (64*j*, *k*, *l* ábra), el kell végezni a fázisok kettős átjelölését.

Vezetékek

A 6...10 kV-os kábelek és szabadvezetékek fázissorrendjének meghatározása. A fázisazonosítás módszerét megvilágító elvi sémát a 65. ábra szemlélteti. Az azonosítás ily módon az UVNF kétpólusú feszültségvizsgálóval (l. az 55. ábrát) végezhető. Először feszültség alá helyezik az összekapcsolandó két rendszert a megszakító- vagy szakaszoló nyitott helyzetében. Ekkor a készülék *CK* bemeneti és kimeneti kapcsain megjelenik a feszültség, amelynek fázissorrendjét azonosítani kell. Ellenőrzik a feszültségvizsgáló helyes működését. Ehhez a tapogatórúddal megérintik a földelést, a feszültségjelző rudat (amelyen a jelzőlámpa van) pedig néhány másodpercig hozzáérintik a feszültség alatt levő készülék egyik kapcsához (66*a* ábra). Ilyenkor a lámpának ki kell gyulladnia. Ezután a tapogató és a jelzőrúd érintkezőit az egyik áramvezető részhez (66*b* ábra) nyomják. A lámpának ilyenkor nem szabad égnie! A feszültség jelenlétét a kapcsolókészülék mind a hat kapcsán ellenőrzik a 66*c* ábra szerint. Az ellenőrzést annak érde-



65. ábra. Galvanikus (nem transzformátoron keresztül kapcsolódó) kapcsolatban levő hálózat fázishelyzetének meghatározása



66. ábra. 10 kV-os hálózat fázissorrendjének meghatározása UVNF típusú feszültségvizsgálóval

a) és *b)* vizsgáló üzemképességének ellenőrzése; *c)* a feszültség ellenőrzése; *d)* a fázissorrend meghatározása

kében végzik így, hogy kiküszöböljék a hibát, ami pl. abból adódhat, hogy az egyik fázisban az egyik biztosító kiolvadt.

A tulajdonképpeni fázissorrend-meghatározás csak ezután következik, és abból áll, hogy a készülék egyik rúdjával megérintik a készülék valamelyik szélső csatlakozókapcsát, a *T* fázist, a másik rúd érintkezőjével pedig egymás után a másik vonal három csatlakozókapcsát (66*d* ábra). Ha a két vonal fázissorrendje az ábra szerinti, akkor az érintés két esetében (T-R_1 és T-S_1) a lámpa fényesen világít, a harmadik esetben pedig nem világít, ami a fázisok azonos nemét jelenti.

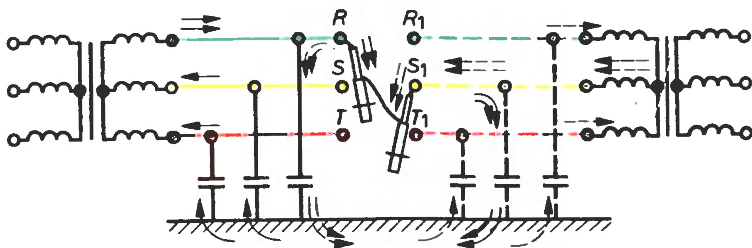
Az első azonos nemű kapocspár meghatározása után a vizsgáló-érintkezőkkel sorban megérintik a további kapocspárokat, az R-R_1 és R-S_1-et. Az érintések egyikekor a lámpa izzásának elmaradása utal a következő azonos nemű kimenetpárokra.

A harmadik T–T_1 kimenetpár fázisegybeesését már nem szükséges ellenőrizni, a fázisoknak egybe kell esniük.

Az azonos fázisok párhuzamosan kapcsolhatók. Ha az azonos nemű fázisok a megszakítónál vagy a kapcsolónál nem esnének egymással szembe, akkor a készüléket feszültségmentesítik és a síneket abba a sorrendbe kötik át, amely a fázisok egyezéséhez szükséges.

6...10 kV-os kábelek és szabadvezetékek fázissorrendjének meghatározása. A következőkben ismertetett módszert olyan, különböző állomásoktól kiinduló vonalak fázishelyzetének meghatározásához használják, amelyeket szinkronban működő hálózat táplál. E módszert két transzformátor közötti hálózat (kábel, szabadvezeték) fázissorrendjének meghatározására alkalmazzák. Azonban a szekunder oldalon 400 V-os transzformátorok fázishelyzetének meghatározásától eltérően adott esetben nem szükséges sem a csillagpontok földelése, sem az ideiglenes áthidalások elhelyezése a szekunder kapcsok között, mivel a zárt kört, amely a készülék működéséhez szükséges, a hálózat villamos kapacitást tartalmazó elemei biztosítják. A két hálózat fázishelyzetének meghatározási vázlatát a 67. ábra mutatja be. A vázlatból látható, hogy a készüléken keresztül, ha azt különböző fázisokra kapcsolják, áram folyik. Az áram nagysága a kapacitív áramok geometriai különbségével egyenlő.

Ehhez a vizsgálathoz is az UVNF típusú feszültségvizsgálót lehet alkalmazni. A készülék jelzőlámpája különböző fázisokra történő kapcsolás esetén világít, míg azonos fázisok esetén nem. A fázishelyzet meghatározásának sorrendje és lépései nem különböznek azoktól, amelyeket már a közvetlenül összekapcsolt 6...10 kV-os kábel és szabadvezeték-hálózatok fázishelyzet-meghatározási módszerének tárgyalásakor leírtunk.



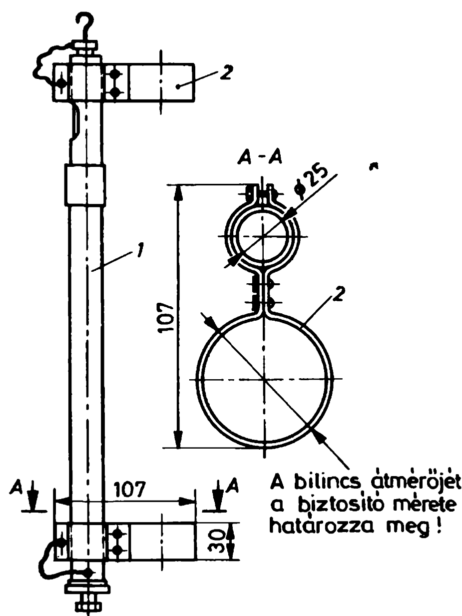
67. ábra. Áramutak az olyan hálózatok fázishelyzetének meghatározásakor, amelyek között galvanikus kapcsolat nincs

A hálózatok fázishelyzet-meghatározásán kívül ezt a módszert alkalmazzák az erőátviteli transzformátorok fázishelyzetének meghatározásához is.

Olvadóbiztosítókkal védett, 6...10 kV-os hálózatok és transzformátorok fázissorrendjének meghatározása. Elvileg a fázissorrend meghatározásához alkalmazhatók az UVN–80 és UVN–10 típusú egypólusú feszültségvizsgálók, amelyeket általában az áramvezető részekben a feszültség jelenlétének vagy éppen hiányának meghatározására használnak. Csak az a fontos, hogy alkalmazási feltételeink garantálják a gyújtóküszöböt az azonos fázisok és különböző fázisok fázissorrendjének vizsgálata esetén. Az UVNF keresőknél ezt az ellenállások megfelelő összeválogatásával és a jelzőlámpa kondenzátoros söntölésével érik el. Az egypólusú feszültségvizsgáló használata a fázissorrend meghatározásához rendszerint csak áramkorlátozó ellenállásokkal együtt ajánlatos. Ezek rendeltetése az, hogy a rövidzárlat lehetőséget kizárja, ha a személyzet hibát követne el a fázishelyzet-meghatározási folyamat során. Ugyanis előfordulhat, hogy a vizsgáló egyes részei hozzáérnek földelt szerkezetekhez, vagy éppen a vizsgálóeszköz kiesik a műveletet végző kezéből stb. A „Specelektromontazs" Tröszt Üzembehelyezési Igazgatósága az olvadó biztosítón keresztül bekapcsolandó 6...10 kV-os hálózatok fázishelyzetének meghatározásakor az UVN–80 típusú feszültségkereső munkarészét kiegészítő ellenállás nélkül alkalmazza. A vizsgálókészülékre sárgaréz gyűrűket helyeznek (68. ábra), amelyek segítségével azokat a három fázis kivett biztosítóbetétei helyére teszik. A vizsgálóeszközök behelyezését feszültségmentes állapotban végzik. Feszültség alatt a behelyezést szigetelt fogókkal kell végezni! Valamennyi fázisban ellenőrzik a feszültség jelenlétét. Ezután megfigyelik, hogy a fázissorrend meghatározásához használt vizsgálókészülék lámpája izzik-e. A fázisok egybeesésekor a lámpák nem világítanak.

A fázissorrend meghatározása során az erőátviteli transzformátorokat a kisfeszültségű oldalon helyezik feszültség alá.

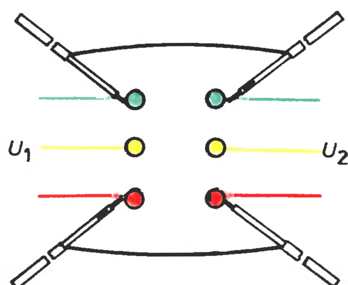
Az UVN–80 feszültségvizsgáló munkarészeit 20 kV-os próbafeszültségen ellenőrzik. Világos, hogy az ilyen próbafeszültség és a feszültségvizsgálat alkalmazási metodikája lehetővé teszi, hogy kiegészítő ellenállás nélkül is használható legyen a készülék 0 kV feszültségű berendezésekben a fázissorrend meghatározására.



68. ábra. Bilincs elhelyezése az UVN–80 típusú feszültségvizsgálón a 6...10 kV feszültségű berendezések fázissorrendjének meghatározásakor
1 az UVN–80 típusú feszültségvizsgáló munkarésze; *2* sárgaréz bilincs

35...110 kV feszültségű kábel- és szabadvezeték-vonalak fázishelyzetének meghatározása. A fázishelyzet meghatározásához az UVNF–35–110 típusú feszültségvizsgálót alkalmazzák (56. ábra). A fázisazonosítást a megszakító (vagy szakaszoló) kikapcsolt helyzetében végzik. A csatlakozókapcsok feszültség alatt vannak: egyik oldalon a kapcsolóberendezés síneiről, a másik oldalon a hálózatról kapják a feszültséget. A hálózat fázissorrendjét egyébként a bekapcsolás előtt még egyszer meg kell határozni. Először a megszakító valamennyi fázisán (csatlakozókapcsán) ellenőrzik a feszültség jelenlétét úgy, hogy a vizsgálókészülék csúcsérintkezőit a fázisvezetőhöz, ill. a földelt szerkezethez érintik. Feszültség esetén a jelzőlámpa világít.

Ezt követően a megszakító szélső fázisain a nyitott pólusokon ellenőrzik a feszültségek fázis szerinti egybeesését (69. ábra). A középső fázison nem végeznek ellenőrzést. Ha a vizsgálókészülék lámpája a szélső fázisokon végzett azonosítás során nem gyullad ki, akkor az egyeztetést befejezettnek lehet tekinteni, mivel a fázisok egybeesnek. Ha viszont a lámpa mindkét szélső fázison vagy csak az egyiken is világítana, akkor a fázisazonosítást nem folytatják, mivel világos, hogy a fázisok nem esnek egybe.



69. ábra. A feszültségvizsgáló bekötése a megszakító kapcsaihoz 35...110 kV feszültségű hálózat fázissorrendjének meghatározásakor

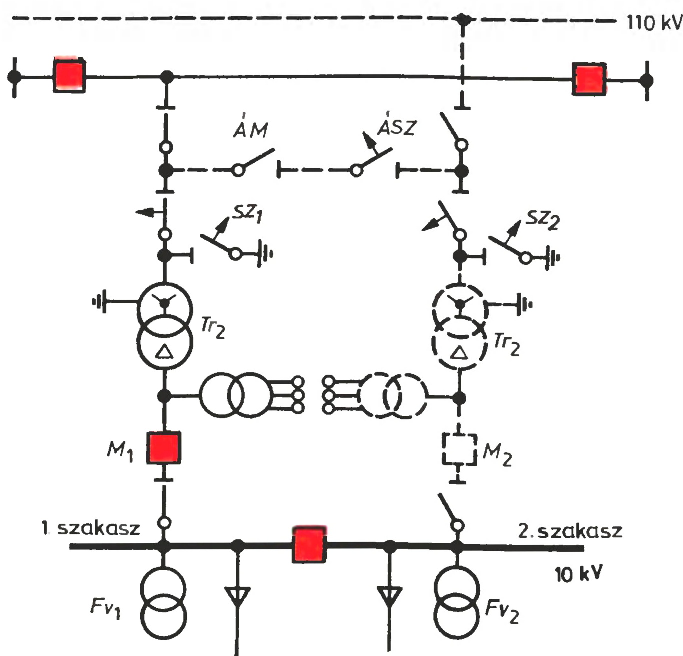
Az áramnak a vizsgálón keresztül való áthaladása attól függ, hogy milyen üzemmódban működik a berendezés. A földelt vagy kompenzált csillagpontú hálózatokban az áram a transzformátorok csillagpontjain, a szigetelt csillagpontú hálózatokban a berendezés áramvezető részeinek földhöz viszonyított kapacitásán keresztül folyik. A fázishelyzet akkor is meghatározható, ha hiányzik a hálózatban a földdel való érintkezés.

Egyszerűsített kapcsolású állomások

A berendezés fázishelyzete meghatározható kétpólusú feszültségvizsgálóval valamennyi alállomáson, azonban alkalmazása legcélszerűbb az ún. egyszerűsített kapcsolású alállomásokban (70. ábra). Az ilyen alállomások nagyobb feszültségű oldalán – különösen az építés első szakaszában – rendszerint nemcsak a kapcsolók hiányoznak, hanem

a feszültségváltók is, ami kizárja a fázishelyzet meghatározásának közvetett alkalmazását a nagyobb feszültségű oldalon. Ezenkívül az új berendezés üzembe helyezését gyakran szakaszosan végzik: először üzembe helyeznek egy vonalat és egy transzformátort, azt követően pedig a terhelés növekedésével a másik transzformátort és a másik vonalat. Ilyen feltételek mellett a berendezés fázishelyzetének meghatározása közvetett módszerrel a kisfeszültségű oldalról ugyancsak nem végezhető el a fogyasztók lekapcsolása és a gyűjtősín szakaszos felszabadítása nélkül. Ha nincs lehetőség a fogyasztók lekapcsolására, a berendezés fázishelyzetének meghatározását a közbenső állomásokra helyezik át, felhasználva ehhez a szabadvezeték-vonalak kapcsolóállomásait is. Ez azonban bonyolult kapcsolásokat igényel, pl. tartalék sínrendszer kialakításával, közbenső állomásokon.

A közvetlen fázisazonosítási módszerek alkalmazhatóságát egy példán keresztül mutatjuk be. Tételezzük fel, hogy az állomáson (70.



70. ábra. 110 kV-os állomás vázlata

ábra) a Tr_2 transzformátor és a 10 kV gyűjtősínek *1.* és *2.* szakaszáról táplált fogyasztók üzemelnek. Bekapcsolásra előkészítették a Tr_2 transzformátort. Meg kell határozni a 110 kV sínrendszer és a Tr_2 transzformátor fázishelyzetét. Ehhez a 110 kV gyűjtősínen először feszültség alá helyezik az SZ_2 szakaszoló bekapcsolásával a Tr_2 transzformátort. Ezt követően kikapcsolják az SZ_2 szakaszolót, és rögzítik a szakaszoló hajtását. A Tr_2 transzformátort a kisebb feszültségű oldalról feszültség alá helyezik. Ilyenkor előzetesen ellenőrizni kell az üzemelő Tr_1 transzformátor, túláramvédelmi reléinek beállítási értékeit, nehogy a mágnesezőáram miatt az üzemi áram olyan értéket érjen el, hogy a védelem kioldjon. A gyűjtősín és a Tr_2 transzformátor fázissorrendjét kétpólusú feszültségvizsgálóval ellenőrzik az SZ_2 szakaszoló kapcsain. Ha a fázissorrend azonos, kikapcsolják az M_2 megszakítót. Ezután a Tr_2 transzformátor párhuzamos üzemre kapcsolása már a szokásos módon elvégezhető.

Balesetelhárítási követelmények a fázishelyzet feszültségvizsgálóval végzett meghatározásakor

Mielőtt hozzákezdenének a fázisazonosításhoz, meg kell győződni arról, hogy a munkahely előkészítése megfelel-e az általános biztonsági követelményeknek, valamint arról is, hogy a feszültségvizsgáló készülékkel a feszültség alatti berendezésen végzett munka speciális követelményei betarthatók-e.

Azokat a villamos berendezéseket, amelyek kapcsain a fázisazonosítást el kell végezni, még a feszültség alá helyezés előtt megbízhatóan kell reteszelni és óvintézkedéseket kell tenni bekapcsolásuk biztonságos megakadályozására.

A feszültségvizsgálókat a feszültség alatti munka megkezdése előtt gondos szemrevételezéssel ellenőrizni kell. Ennek során azt kell megvizsgálni, hogy a csövek lakk bevonata, a kapcsolóvezeték szigetelése és a feszültségjelző lámpa sérülés- és karcolásmentes legyen. A feszültségvizsgáló csak meghatározott időtartamon belül használható. A használhatóság lejárati időpontját a feszültségvizsgáló felületén tüntetik fel. Nem szabad alkalmazni olyan feszültségvizsgálót, amelynek szavatossági határideje lejárt.

A feszültségvizsgáló használatakor kötelező a szigetelőkesztyű viselése. A munka során nem ajánlatos az összekötővezetéket a föl-

delt részekhez közelíteni. Munka közben ügyelni kell arra, hogy a készülék munka- és szigetelőrészei olyan helyzetben legyenek, hogy felületük ne idézhessen elő fázis-, ill. földzárlatot.

A feszültségkeresővel nem szabad munkát végezni, esőben, hóesésben, ködben, ugyanis a szigetelőrészek átnedvesedhetnek, ami átütéshez vezethet.

13. A FÁZISHELYZET MEGHATÁROZÁSÁNAK KÖZVETETT MÓDSZEREI

Hazánkban az új elosztó- és kapcsolóberendezésekben alkalmazott gyűjtősínek színezése az MSZ–09,0238–79 sz. NIM ágazati szabványnak megfelelően történik. A feszültségváltók kapocsjelölésének ellenőrzését az üzembe helyező szervek végzik el gépkönyvek és tervdokumentáció alapján. Az elkészített színezés és jelölések helyességének végleges ellenőrzését általában úgy végzik el, hogy az elosztóberendezést feszültség alá helyezik. Ilyenkor a feszültséget fázisonként kapcsolják rá, azaz először az *R*, majd az *S* és végül a *T* fázisra. Közben ellenőrzik a kapcsolóberendezés és az energiarendszer fázisainak színazonosságát. Egyidejűleg ellenőrzik a feszültségváltó szekunder kapcsain megjelenő feszültség alapján az egyes fázisok jelöléseinek helyességét. A többi feszültségváltó szekunder tekercseinek fázisazonosítását a továbbiakban már az ismert (korábban ellenőrzött) kapocsjelölésű feszültségváltóval végzik. A fázisazonosítás módszerei megegyeznek a 400 V szekunder feszültségű erőátviteli transzformátorok fázisazonosítási módszereivel. Egy adott módszer kiválasztása a szekunder tekercs kapcsolásától függ, azaz attól, hogy földelt-e annak csillagpontja vagy a fázisok egyike. Az első esetben a fázisazonosításhoz olyan feszültségmérőt használnak, amelynek méréshatára legalább a fázisfeszültség kétszerese, a másodikban pedig a vonalfeszültség kétszerese, ugyanis a szekundertekercsek fázisainak földelésekor a feszültség elérheti $2U$ értéket.

Az üzemi gyakorlatban az olyan feszültségváltó fázisazonosítását, amelynél nem a csillagpont, hanem minden kétséget kizáróan a szekunder tekercsek egyike (pl. az *S* fázis) van földelve, az FU–2 típusú fázissorrendjelzővel végzik el. Adott esetben az azért megengedett,

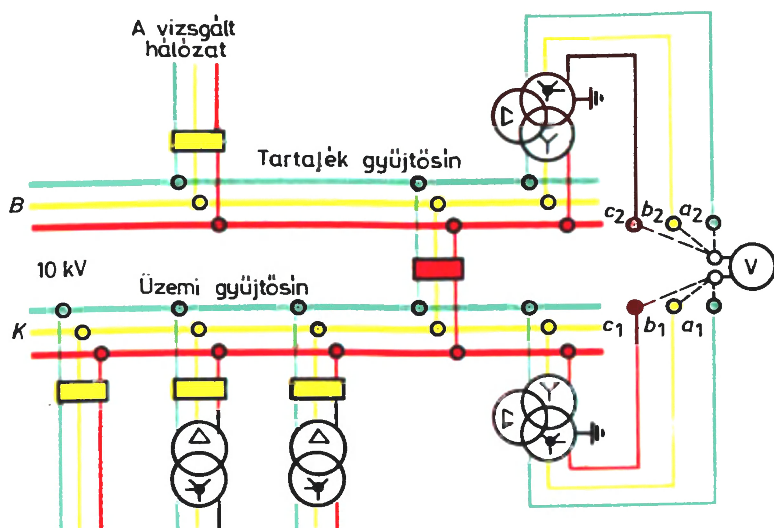
mert az S fázisok (S és S_1) közvetlenül össze vannak kapcsolva, és csak az R, valamint a T fázis feszültségeinek azonosítását kell elvégezni (mint az a 9. ábrán is látható). Amennyiben ezek nem esnének egybe, a fázissorrendjelző tárcsáját az egyik feszültségváltóra kapcsolt feszültség az egyik irányba (pl. jobb), a másik feszültségváltó feszültsége pedig másik (pl. bal) irányba fogja forgatni. Egyéb esetekben ezt a módszert nem szabad alkalmazni, mivel még azonos fázissorrend esetén is az azonos nemű feszültségek fázisai között szögeltolódás lehetséges.

Az azonos feszültségű feszültségváltók fázissorrendjét azonos tápfeszültséggel kell meghatározni. Ha pl. két olyan feszültségváltó fázissorrendjét kell ellenőrizni, amelyeket a nagyfeszültségű oldalon különböző sínrendszerekre (vagy szakaszokra) kapcsolnak, akkor a síneket egymás közt sínbontó-szakaszolóval vagy sínáthidaló megszakítóval kötik össze és ezt követően végzik el a fázisazonosítást. Valamely villamos berendezés közvetett módszerrel történő fázisazonosításakor előzetesen a feszültségváltók fázisazonosítását végzik el.

Transzformátorok és hálózatok fázisazonosítása kettős gyűjtősínrendszer esetén

Ezzel a módszerrel határozzák meg függetlenül a feszültségszinttől a transzformátor és a hálózat (szabadvezeték vagy kábelhálózat) fázisazonosságát.

Egy adott kapcsolóállomásban, ahol mindkét sínrendszer üzemben van a fázisazonosításkor ún. egysínes üzemet tartanak fenn, vagyis a próba idejére az egyik (a 71. ábrán a B) sínrendszert szabaddá teszik. Ebben a kapcsolásban a K gyűjtősínen keresztül tartják fenn az üzemet. A sínáthidaló megszakító bekapcsolt helyzetében voltmérővel ellenőrzik a (tartalék és az üzemi) sínrendszerek fázissorrendjének megfelelőségét. Ezt követően a sínáthidaló megszakítót kikapcsolják. A B sínrendszerre kapcsolják azt az áramkört, amelynek fázissorrendjét meg kell határozni (71. ábra). Ennek tápoldali végéről az áramkört feszültség alá helyezik, és a K üzemi, valamint a B tartalék sínrendszer feszültségváltóinak szekunder kapcsain ellenőrzik a fázissorrend helyességét, azaz elvégzik a fázisazonosítást. Ennek érdekében voltmérővel a következő sorrendben hat mérést végeznek: a_1-a_2; a_1-b_2; a_1-c_2; b_1-a_2; b_1-b_2; b_1-c_2. Ha az a_1 és a_2; b_1 és b_2; c_1



71. ábra. Hálózat fázissorrendjének megállapitása közvetett módszerrel a feszültségváltók szekunder kapcsain

és c_2 kapcsok között a feszültségkülönbség nulla (azaz fázisazonosság esetén a fázissorrend meghatározását befejezik). Megmérik a feszültséget az azonos betűjelű kivezetések között. Ha a mérés eredménye nulla, az áramkört kikapcsolják és az áramvezető részeket átkötik. Ezt követően a fázishelyzet azonosítását újra elvégzik.

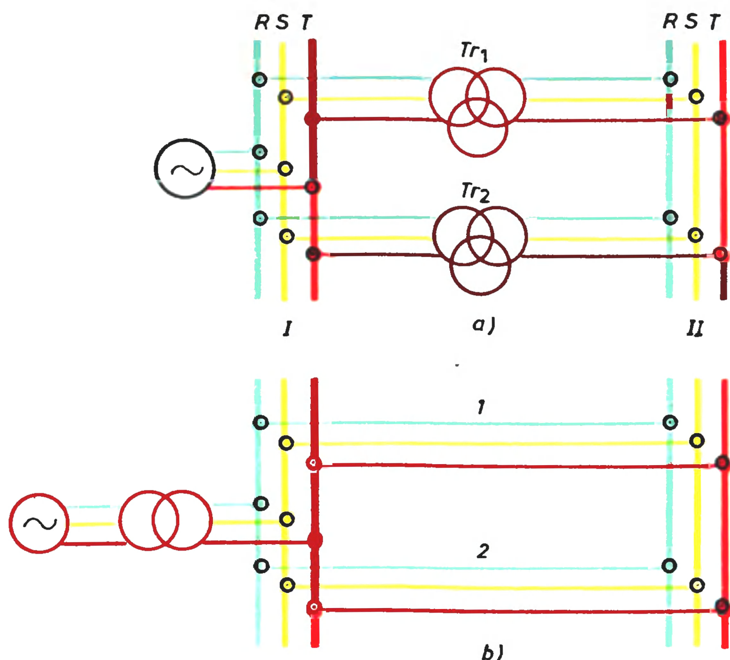
Háromtekercses (tercier) transzformátorok fázisazonosítása

A fázisazonosítást két ütemben végzik. Először a transzformátort a primer oldaláról helyezik feszültség alá, és a fázishelyzet meghatározását a kisebb feszültségű tekercsoldalon végzik el. A fázisok egybeesése esetén a transzformátort a kisebb feszültségű oldalon kikapcsolják, és a középfeszültségű tekercset kapcsolják a tartalék sínrendszerre, majd ezen a feszültségen végzik el a fázishelyzet meghatározását. Ha mindkét esetben pozitív eredményt kapnak, befejezettnek tekintik a transzformátor fázishelyzetének meghatározását.

Transzformátorok és hálózatok fázissorrendjének azonosítása folyamatosan végzett (nulláról induló) feszültségnöveléssel

Az e módszer szerinti fázisazonosítást abban az esetben kényelmes elvégezni, amikor a nulláról történő feszültségnövelés egyidejűleg más célokra is szükséges, pl. a védelem ellenőrzésére.

Két transzformátor kapcsolási rajzát szemlélteti a 72*a* ábra. A vázlaton látható a Tr_1 transzformátor, amelynek a fázissorrendjét meg kell határozni, párhuzamosan van kapcsolva a másikkal (Tr_2), amelynek a hálózathoz viszonyított fázisazonosítását már elvégezték. A két transzformátor szekunder tekercseihez generátor kapcsolódik. A fázissorrend azonosítása előtt meggyőződnek arról, hogy a transzformátorok azonos áttételűek-e (a szabályozó állásából), mivel ellenkező esetben a fázissorrend azonosítási eredményei hibásak lehetnek.



72. ábra. Két transzformátor *(a)* és két, párhuzamosan kapcsolt hálózat *(b)* fázissorrendjének meghatározása feszültségnöveléssel

A fázissorrend azonosításához a generátor fordulatszámát olyan értékűre növelik, hogy elérje a névleges értéket és lassan (nulláról) növelik a feszültséget. Ellenőrzik a generátor állórészének áramkörébe iktatott ampermérőt, és annak értékei alapján ítélik meg a transzformátorfázisok egybeesését. Ha az áramerősség értékei közelítenek az üresjárási áramértékhez, akkor a transzformátor fázissorrendje azonos. Ha valamelyik fázis fel van cserélve, az ampermérők jelentősen nagyobb áramerősséget jeleznek, amely a feszültség növelésével közeledik a rövidzárlati áramhoz.

Ez a módszer hálózatok fázissorrend-azonosítására akkor alkalmazható (72*b* ábra), ha van egy másik párhuzamos kábel- vagy szabadvezeték-hálózat is. Ilyenkor az azonosítandó *1* és *2* jelű hálózatokat a két (*I* és *II*) alállomás közös (tartalék) sínrendszerével kötik össze. A rendszerre generátort kapcsolva majd a feszültséget nulláról növelik fokozatosan. Ha a hálózatokon a fázisazonosság hiányzik, a vezetékszakaszokon rövidzárlati áram folyik, amit könnyű felismerni az ampermérő állásából.

Kiadja a Műszaki Könyvkiadó
Felelős kiadó: Fischer Herbert igazgató

Műszaki vezető: Hegedűs Ernő
Műszaki szerkesztő: Metzker Sándor
A borítót és a kötést tervezte: Pázdán Zsuzsa
A könyv ábráit rajzolta: Csáby Józsefné
A könyv formátuma: A/5
Ívterjedelme: 8,5 (A5)
Ábrák száma: 72
Példányszám: 10 900
Betűcsalád és -méret: New Times, 10/11
Azonossági szám: 61 038
MŰ: 3115-h-8284
A kézirat lezárva: 1980. IX.
A szedés a Nyomdaipari Fényszedő Üzemben készült
A nyomdai munkákat a moszkvai MIR Kiadó végeztette